الألكترونيات فى خدمة التطبيقات الكهربائية



تأليف : نويل م. موريس

الالكترونيات فى خدمة التطبيقات الكهربائية

تأليــف

نويل م . موريس

ترجمـــة

الدكتورة سميرة رستم

قسم الكهرباء ـ كلية التكنولوجيـا
جامعـــة حلوان
جمهـورية مصر العربيـة

مراجعـــة

الدكتور محمد لطفى السيد

عميـد كليـة التكنولوجيـا
جامعـة حلوان
جمهـورية مصر العربيـة

دار ماكجروهيل للنشر (المملكة المتحـدة)

لندن . نيويورك . سانت لويس . سان فرانسيسكو . اوكلاند . بيروت.
بوجوتا . دوسلدورف . جـوهانسبرج . لشـبونه . لوسيرن . مدريد .
مكسيكو . مونتريال . نيودلهى . بنما . باريس . سان جوان . ساوباولو .
سنغافورة . سيدنى . طوكيو . تورنتـو .

نشر بمعـــــرفة
دار كتب ماكجروهيل (المملكة المتحدة) ليمتد
ميدنهيد . بركشاير . انجلترا

حقوق التاليف ١٩٧٦ . دار نشر كتب ماكجروهيل (المملكة المتحدة) ليمتـــد
جميع الحقوق محفوظة

Electronics For Works Electricians

Noel M. Morris

الطبعة العربية ١٩٧٨ . تصدر بالتعاون مع مؤسسة الاهرام بالقاهرة .

لا يجوز نشر اى جزء من هذا الكتاب أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو
نقله على اى نحو أو باى طريقـــة سواء كانت اليكترونيـــة أو ميكانيكيـــة أو
بالتصوير او بالتسجيل او خلافذلك الا بموافقة الناشر علىهذا كتابةومقدما.

07 084295 7

المحتـــــويـات

مقــــدمة :

مقـــــدمة

لميصل التقدم التكنولوجي في شتى المجالات الى درجة من الاطراد السريع تناطح ما بلغه ذلك التقدم فى مجال الهندسة الالكترونيه . فلقد اصبح من الممكن ان يعول على الدوائر والنظم الالكترونية الى الدرجة التى مكنتهـا من أن تحل محل المعدات التقليدية فى التطبيقات المنزلية والتجارية والصناعية .

وهذا الكتاب يخدم غرضين أولهما هو اعطاء معلومات خلفية لا تتضمنهـا فى العادة مقررات الهندسة الكهربائية تخصص القـوى الكهربائيـة . اما الغرض الثانى فهو لا يدور حول المعلومات الخاصـة بأنواع ومدى المكونات والدوائر المستخدمة فى التطبيقات العملية فحسب . بل انه يدور ايضا حول فلسفة التصميم الاساسية للدوائر الشائعة وأينما كان ذلك ممكنا ، فلقد استخدمت الامثلة لتوضيح كل النقاط عند ظهورها . ولقد حاولت الى النهاية ان احقق توازنا بين الغرضين المتنامين للتدريب والتعليم . ذلك أن كليهمـا أمر حيوى اذا مادعا الامر الى أن يحدد المشتغلين بالتطبيقات الكهربائيـة موضع الاعطال فى المعدات الالكترونية لاصلاحها ولتفهم الاسباب التى أدت الى حدوثها .

ولقد ادت التطورات لنبائط أشباه الموصلات الى ادخال وانتشار المعدات الالكترونية فى المنزل والمكتب والمصنع . ولسوف نركز فى هـذا الكتاب من البداية الى النهاية على كيفية استخدام نبائط اشباه الموصلات كوحدات الترانزستور ونبائط التأثير — المجالى ووحـدات الثايرسـتور والترايك . ويمكن تقسيم الكتاب بصفة اجمالية الى أربعة أجزاء هى :

القواعد الاساسية والنبائط (الفصول من ١ — ١٠) .

الدوائر الالكترونية (الفصول من ١١ — ١٤) .

مصادر القـدرة الالكترونية والكترونيات القـوى الكهربائيـة (الفصل الخامس عشر) .

معدات الاختبار (الفصل السادس عشر) .

ففى الابواب العشرة الاولى ، تمت تغطية نظريات التيار المتردد والتيار المستمر ، مع النبائط المستخدمة فى الدوائر الالكترونية . وتتراوح هذه النبائط ابتداء من المكونات التى لا يمكن الاستغناء عنها مثل المقاومات والمكثفات والملفات حتى العناصر الالكترونية الاكثر تعقيدا والتى تشمل وحدات وصلات الترانزستور ثنائى القطب ، وترانزستور التأثير — المجالى ودايود القذف الضوئى ومبين السائل البلورى والترانزستور أحادى التوصيل والترايك .

ولقد خصصت الفصول من ١١ — ١٤ ، شاملة ، لكيفية عمل الدوائر الالكترونية وهى تشمل مكبرات الترانزستور ومكبرات التغذية المرتدة والمذبذبات ودوائر المكبر التشغيلى . وفى الحقيقة ، توضع المكبرات التشغيلية عند تلك المنزلة من الاهمية فى الالكترونيات والتى دعت الى تخصيص باب كامل لها . ولقد أصبح الحاسب الالكترونى فى وقتنا الحاضر واحدا من أكثر المعدات الالكترونية بروزا ، فالحاسبات الرخيصة أصبحت ميسرة بسبب التقدم فى فن صناعة (تكنولوجية) الدائرة المتكاملة ذات القطعة الواحدة مصحوبا بالتقدم فىالدوائر الالكترونيةالمنطقية . هذا وتقدم الدوائر المنطقية فى الفصل الحادى عشر ويركز الفصل الثانى عشر على تكنولوجية الدائرة المتكاملة ذات القطعة الواحدة .

ويتم توضيح مصادر القدرة الالكترونية اللازمة لنوعى « التيار الخفيف » و « التيار الثقيل » فى الفصل الخامس عشر . ولقد تضمنت هذه المصادر، مصادر القدرة ثابتة الجهد التى تهيىء جهودا يمكن التحكم فيها على وجهالدقة للمعدات الالكترونية . ولقد عرض أيضا وحدات الثايرستور والترايك مع تطبيقات على التحكم فى سرعة المحركات الكهربائية وعاكسات القدرة ومغيرات التردد .

وفى النهاية ، تناقش فى الفصل السادس عشر معدات الاختبار شاملة المقاييس المتعددة المدى ومرسمات اشعة المهبط والفولتميترات الالكترونية والفولتميترات الرقمية .

واود ان اسجل شكرى للمساعدة والمشورة الطبية خلال فترة تأليف الكتاب والتى غمرتني من السيد/د . واندار رئيس التدريب على وسائل الانتاج باتحاد هندسة الانتاج للابحاث وكذلك السادة منزملائه .وبالاضافة، اود ان اشكر القائمين بالصناعات الالكترونية لما تدموه من المعلومات القيمة المرتبطة بالدوائر والنظم المقدمة فى الكتاب .

ومن وجهة نظر شخصية ، اود أن اشكر زوجتى ، لا من أجلمساعدتها وصبرها وتفهمها أثناء الكتابة فقط وانما بسبب المجهودات المضنيَة التى بذلتها أثناء فترة الاعداد .

نويل . م .موريس

الفصل الاول

دوائر التيار المستمر

١ ــ ١ طبيعة التيار الكهربى

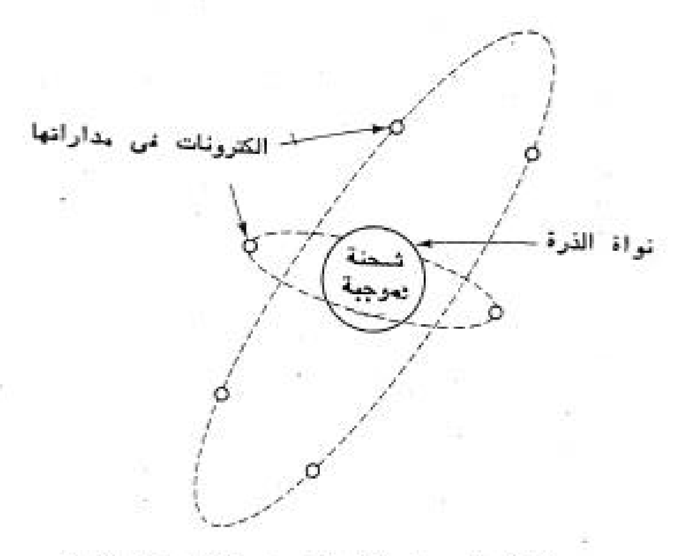
يمكن تفسير التيار الكهربى على اساس تحرك « حاملات الشحنة الكهربية » بين نقاط فى دائرة . ولكي نفسر سريان التيار الكهربى يلزم أن نعرف شيئا عن التركيب الذرى للمواد المستعملة فى الدوائر الالكترونية.

تتكون الذرات ــ من وجهة النظر الهندسية ــ من نوعين من « الجسيمات المشحونة » ، هما **الالكترونات والبروتونات** . وتعتبر الالكترونات أخف كثيرا من البروتونات ، اذ تبلغ كتلة الالكترون $\frac{١}{١٨٤٠}$ من كتلة البروتون . كذلك فان الشحنة الكهربية التى يحملها الالكترون تكون سالبة ، بينما تلك التى يحملها البروتون تكون موجبة ، والشحنتان متساويتان فى المقدار ومتعاكستان فى الاتجاه . ولان البروتونات أكثر وزنا فانها تتركز فى مركز [أو نواة] الذرة ، كما هو مبين بالشكل ١ ــ ١ ، بينما تدور حولها الالكترونات فى مدارات على شكل « طبقات » أو « أحزمة » أو « أغلفة » . لتبسيط ذلك يمكن تشبيه الذرة بموقف سيارات متعدد الطوابق . هنا يمكن اعتبار مستوى سطح الارض ، أو منسوب الاسناد ، كنواة الذرة ، فى حين أن الطوابق المختلفة لركن السيارات فى هذا الموقف تمثل المدارات التى تتواجد بها الالكترونات . والالكترونات التى تشترك فى عملية التوصيل الكهربى تدور فى أقصى مدار خارجى ممكن ، يعرف باسم « المدار التكافؤى » أو « شريط الطاقة التكافؤى » .

وعندما يطبق جهد كهربى على موصل فان الالكترونات الموجودة فى المدار التكافؤى [تسمى « الكترونات التكافؤ »] تتعرض لقوة كهربية تعمل على دفع الالكترونات تجاه القطب الموجب للمصدر . اذا كانت هذه القوة كبيرة بدرجة كافية فانها تستطيع أن تحرر بعض هذه الالكترونات من تأثير القوى التى تربطها بالذرة ، وينشأ سريان التيار فى الدائرة من تلك الالكترونات التى تصل الى القطب الموجب للمصدر . وطبقا للعرف المعمول به فى الهندسة

الكهربائية « فان التيار ينساب خارجا من القطب الموجب لمصدر الامداد ، أى أن الاتجاه الاصطلاحى لانسياب التيار يكون عكس اتجاه سريان الالكترونات»
عندما يسرى التيار بالطريقة الموضحة عاليه فان الالكترونات تنساق خلال الموصل تحت تأثير الجهد المسلط عليه . ونتيجة لذلك فان هذا النوع من انسياب التيار يسمى انسياب تيار الانسياق **drift current flow** .

واذا عزلنا ذرة واحدة نجد أن محصلة الشحنة الكهربية عليها تساوى صفرا ، لان الشحنة الموجبة على النواة تتعادل مـــع الشحنة السالبة للالكترونات الدائرة حولها .



شكل ١ ــ ١ الكترونات فى فلكها حول النواة

عندما يفلت احد الالكترونات من الذرة، فانه يتحول الى شحنة سالبة حرة الحركة وحيث أن الذرة قد فقدت الكترونا [شحنة سالبة] فانها تصبح موجبة الشحنة بما يعادل شحنة وحدة اليكترونية. لذا سوف تسعى كل ذرة لان تجذب لنفسها أيا من الالكترونات الحرة الحركة المتواجدة بالقرب منها . وعلى هذا الاساس يمكن اعتبار شحنة الذرة الموجبة كفجوة الكترونية ، تقـوم بعمل حامل الشحنة الموجبة تماما كما اعتبر كل الكترون كحامل لشحنة سالبة . فالفجوة الالكترونية اذن هى ببساطة عبارة عن غياب للالكترون من نقطة فى التركيب الذرى كان من الطبيعى ان يتواجد بها . وحيث أن الفجوة ما هى الا حاملة للشحنة الحرة الحركة تماما كالكترون الحر الحركة ، لذا فان تعريف الفجوة كما هو موضح أعلاه يصبح على وجه التحديد غير دقيق. وعلى اى حال فالوصف السابق يخدم الغرض من تقديم المفهوم الاساسى للفجوة الالكترونية .

ويعزى سبب تخلى الالكترون عن الذرة « الام » الى اكتسابه قدرا من الطـــاقة يكفيه لكي يفلت من تأثير قوى الربط الذرية . ويمكن أن تأتى هذه الطـاقة من عدة مصادر لعل أكثرها شيوعا هو الجو المحيط بنا [درجة

الحرارة المحيطة] وفى درجة حرارة الحجرة فان عدادا كبيرا من الالكترونات فى الموصلات الكهربائية تكون قد اكتسبت قدرا كافيا من الطاقة للانفلات من الذرات « الام » . لذلك ، فان اعدادا كبيرة من الالكترونات الحرة فى الموصلات الكهربائية تكون جاهزة للمساهمة فى التوصيل وتتحرك فى الموصل بطريقة عشوائية . وقد تتراكم هذه الالكترونات الحرة فى لحظة معينة عند احدى النقط ولتكن A فى الموصل الكهربائى المعزول كما هو موضح بالشكل [١ — ٢] مما ينتج عنه أن تصبح هذه النقطة سالبة الشحنة . وفى نفس الوقت ، سيتواجد عجز فى الالكترونات عند نقطة اخرى ولتكن B ، وهكذا تصبح نقطة B الموجبة الشحنة اعلى جهدا من النقطة A ، وتتعرض الالكترونات عند النقطة A بالتالى لقوة جذب فى اتجاه النقطة B . عندئذ تميل الالكترونات الحرة الى التحرك بغير انتظام داخل الموصل بطريقة عشوائية . ويسمى هذا النوع من التحرك لحاملات الشحنات بتيار الانتشار «diffusion current» .

وبالنسبة لاى مادة كهربائية ، يحدث الانتشار لحاملات الشحنة عندما يوجد

شكل ١ — ٢ توضيح آلية تيار الانتشار

تركيز لحاملات الشحنة الحرة فى اى جزء من المادة مما يؤدى الى تحرك الشحنات الحاملة من منطقة التركيز الاكثر الى منطقة التركيز الاقل .

وفى الباب التاسع سنعرف طريقة تشغيل وصلة الترانزستور ذى القطبين بدلالة تيار الانتشار وتيار الانسياق .

١ — ٢ اشباه الموصلات

اشباه الموصلات هى مواد تقع مقاوميتها بين مقاومية الموصلات الجيدة والمواد العازلة . ومواد اشباه الموصلات الشائعة الاستعمال فى تصنيع الصمامات الثنائية والترانزستور هى السليكون والجرمانيوم اما تلك التى تستخدم فى تصنيع الصمامات الثنائية الباعثة للضوء فهى زرنيخيد الجاليوم وفوسفيد الجاليوم .

واكثر المواد شبه الموصلة استعمالا هو عنصر السليكون الذى يوجد فى انواع عديدة من الصخور والاحجار فالرمال مثلا ما هى الا ثانى اكسيد السليكون .

تختزل المواد شبه الموصلة فى فرن ذى درجة حرارة عالية حتى تصبح فى صورة نقية . وينساب التيار خلال المادة شبه الموصلة النقية ، كما سبق واوضحنا فى الجزء ١ — ١ كنتيجة للالكترونات والفجوات التى تولدت بواسطة التاثير الحرارى . فاذا ما سلط فرق جهد كهذه بين طرفى المادة شبه الموصلة فان الالكترونات الحرة تنطلق فى اتجاه القطب الموجب للمصدر بينما تنطلق الفجوات فى اتجاه القطب السالب . ويزداد عدد الالكترونات المنطلقة من الذرات الام لشبه الموصل بازدياد درجة الحرارة المحيطة . اذن فلكل قيمة معينة من فرق الجهد يزداد سريان التيار داخل المادة شبه الموصلة مع ازدياد درجة الحرارة ، أى ان ، مقاومة المادة تقل مع تزايد درجة الحرارة ، وبمعنى آخر ، فأشباه الموصلات لها معامل مقاومة حرارى سالب .

ويمكن التحكم فى المواد شبه الموصلة المستعملة فى صناعة النبائط الالكترونية (devices) بتنظيم اضافة كمية من الشوائب اثناء التصنيع علما بأن هذه الكمية تبلغ فى العادة جزءا من المليون من اجزاء المادة النقية . وبناء على نوع الشوائب المضافة لشبه الموصل يمكن توصيفه اما بالنوع الموجب (p) أو بالنوع السالب (n) وسنتناول فيما بعد شرح هذه المسميات .

فى مواد النوع الموجب ، ينتج عن الشوائب المضافة أن يزيد عدد الفجوات « الحرة » عن عدد الالكترونات « الحرة » [ونلاحظ أن النوع الموجب يعنى بالضرورة حاملات حرة للشحنات الموجبة] . لذلك عند انسياب التيار فى المادة موجبة النوع فان اكثرية هذا التيار المنساب تكون نتيجة لتحرك حاملات الشحنة الموجبة فى اتجاه القطب السالب للمصدر . وتساهم حركة الالكترونات فى اتجاه القطب الموجب للمصدر بجزء محدد جدا من القيمة الاجمالية للتيار المنساب . لذا توصف الفجوات بحاملات الشحنة ذات الاغلبية بعكس الالكترونات فهى حاملات الشحنة ذات الاقلية وذلك بالنسبة للنوع الموجب من المواد شبه الموصلة . هذا وتضاف مواد مثل الجاليوم أو الانديوم لتمتزج مع السليكون النقى لانتاج النوع الموجب من اشباه الموصلات .

اما اذا اضيفت مواد مثل الزرنيخ أو الانتيمون لتختلط مع السليكون أو الجرمانيوم النقى ، لاصبح لدينا ما يسمى بالنوع السالب من اشباه الموصلات مما ينتج عنه أن تزيد عدد الالكترونات « الحرة » عن عدد الفجوات «الحرة» [ونلاحظ أن النوع السالب يعنى بالضرورة حاملات حرة للشحنات السالبة] وبالتالى فالالكترونات فى هذا النوع هى حاملات الشحنة ذات الاغلبية بعكس الفجوات التى تعتبر حاملات الشحنة ذات الاقلية . وان سريان التيار

فى المواد ذات النوع السالب يكون نتيجة لاندفاع الالكترونات فى اتجاه القطب الموجب للمصدر .

ويستعمل كلا النوعين السالب والموجب لاشباه الموصلات فى تصنيع نبط اشباه الموصلات .

١ ـ ٣ الكميـــات الكهربائية

بينما تتفق الكميات المستخدمة فى كل من الدوائر الالكترونية والدوائر الكهربائية ، الا انه يوجد فرق أساسى بينهما وهو حجم الوحدات . ففى الدوائر الكهربائية ، تقيم القدرة المستهلكة عادة بوحدات من الكيلو وات أو الميجاوات ، بينما من النادر ان يزيد مستوى القدرة فى الدوائر الالكترونية عن بضع من وحدات الوات ، بل فى اغلب الاحيان قد تكون بضعـا من وحدات الملى وات [الملى وات = $\frac{١}{١٠٠٠}$ وات] . وسنتعرف فيما يلى الكميات الكهربائية الاساسية .

كمية الكهرباء [**ورمزها** Q] كمية الكهرباء المـارة عبر نقطة فى دائرة ما هى :

$$Q = It$$ كولوم (رمز الوحدة Q)

حيث I هى قيمة تيار الدائرة مقدرا بالامبير و t هو الزمن الذى يستغرقه مرور التيار مقدرا بالثانية . لذا ، اذا مر تيار قيمته ٥ر١ أمبير لمدة من الزمن قدرها ٣ ثوان ، تكون كمية الكهرباء المـارة بأى نقطة فى الدائرة هى

$$Q = It = 1.5 \times 3 = 4.5$$ كولوم

الجهد الكهربائى [ورمزه E] ان فرق الجهد بين نقطتين فى دائرة يحدد فيما يعرف بقانون اوم وهو $E = IR$ فولت حيث R هى مقاومة الدائرة بين النقطتين . وتوجد صورتان اخريان لقانون أوم هما

$$R = E/I \quad و \quad I = E/R$$

الطاقة الكهربية [ورمزها W] يمكن ايجاد الطاقة المستهلكة فى الـدائرة الكهربائية بالعلاقة التالية .

$W = EIt$ watt-seconds أو joules [ورمزه J]

والكيلو وات ساعة هو الوحدة التجارية للتعبير عن الطاقة الكهربية حيث يساوى الكيلو وات ساعة ١٠٠٠ وات ساعة أو ٣٦٠٠٠٠٠ وات ثانية . فاذا كان لدينا

$$E = 240\ V \quad , I = 2\ A \quad , \quad t = 3\ S$$

فان الطاقة المستهلكة فى الدائرة تبلغ

$$W = EIt = 240 \times 2 \times 3 = 1440 \text{ watt-seconds or joules}$$
$$= 0{\cdot}4 \text{ watt-hours}$$

القدرة الكهربية [ورمزها P] . القدرة هى معدل استهلاك الطاقة ويمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$P = EI = I^2R = E^2/R \quad \text{watts}$$ [ورمزها W]

١ ــ ٤ مضاعفات وجزئيات الكميات الكهربية

ان غالبية الوحدات الاساسية المستعملة فى هندسة القوى الكهربائية تكون اما كبيرة بدرجة غير مقبولة او اصغر بكثير من مثيلاتها فى الدوائر الالكترونية . فمثلا [الكيلو وات] وهو الوحدة القياسية للقدرة المستهلكة فى الدوائر الكهربائية يعادل مليون ضعف للـ [ملى وات] وهو الوحدة القياسية المناظرة للدوائر الالكترونية . كذلك اذا بلغت قيمة مقاومة الموصل جزءا من الاوم فانها تعتبر قيمة مرتفعة فى دوائر القوى الكهربائية ، بينما يمكن اعتبار المقاومة التى تبلغ قيمتها ١٠٠٠ أوم فى بعض الدوائر الالكترونية صغيرة . ويوضح الجدول رقم [١ ــ ١] بعض مضاعفات وجزئيات الوحدات الشائعة . فمثلا تعمل بعض الدوائر الالكترونية عند تردد عدة جيجا هرتز (1 GHz - 1000 million hertz) وتقاس قيم المكثفات لمثل هذه الدوائر بالنانوفراد

$$(1\ nF = 10^{-9}\ F = 0{\cdot}001\ \mu F = 1000\ pF).$$

وفى بعض الدوائر الاخرى ، يمكن قياس تيار التسرب خلال الترانزستور بالنانو أمبير

(1 nA = one thousandth of one millionth of an ampere.)

وسنوضح بعضا من احجام الوحدات الاخرى فى الامثلة التالية :

مثال ١ ــ ١ اذا سلط جهد كهربى مقداره 10V على دائرة كهربائية مقاومتها 20 MΩ ، احسب قيمة التيار المار فى الدائرة وكذلك قيمة القدرة المستهلكة .

[جدول رقم ١ ــ ١] مضاعفات وجزئيات الوحدات

الرمز	البادئة	المضاعف
T	tera	10^{12} = 1 000 000 000 000
G	giga	10^{9} = 1 000 000 000
M	mega	10^{6} = 1 000 000
k	kilo	10^{3} = 1 000
c	centi	10^{-2} = 0·01
m	milli	10^{-3} = 0·001
μ	micro	10^{-6} = 0·000 001
n	nano	10^{-9} = 0·000 000 001
p	pico	10^{-12} = 0·000 000 000 001
f	femto	10^{-15} = 0·000 000 000 000 001
a	atto	10^{-18} = 0·000 000 000 000 000 001

الحـــل

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{20 \times 10^6} = 0{\cdot}5 \times 10^{-6}\ \text{A} = 0{\cdot}5\ \mu\text{A} = 0{\cdot}0005\ \text{mA}$$
$$= 500\ \text{nA}$$
$$P = EI = 10 \times 0{\cdot}5 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-6}\ \text{W} = 5\ \mu\text{W} = 0{\cdot}005\ \text{mW}$$
$$= 5000\ \text{nW}$$

مثال ١ ــ ٢ . احسب الطاقة المستهلكة فى مقاومة كهربائية مقــدارها 100 k اذا ما سلط بين طرفيها جهد كهربائى مقداره 12 mV ولمـــدة 60 S .

الحـــل

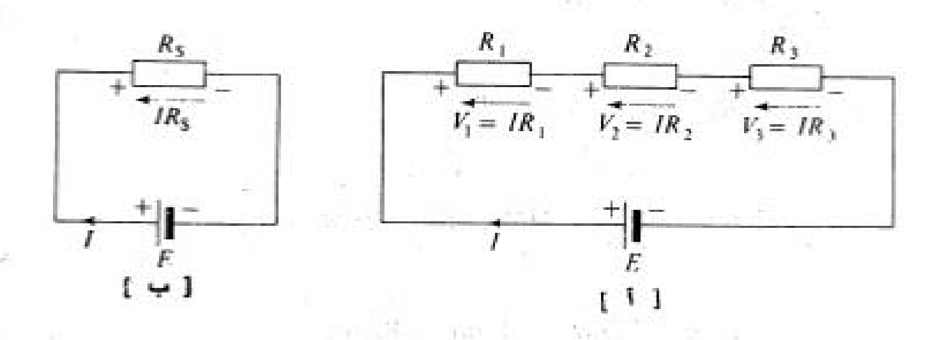
$$I = \frac{E}{R} = \frac{12 \times 10^{-3}}{100 \times 10^3} = 0{\cdot}12 \times 10^{-6}\ \text{A}$$
$$= 0{\cdot}12\ \mu\text{A}$$
$$W = EIt = (12 \times 10^{-3}) \times (0{\cdot}12 \times 10^{-6}) \times 60$$
$$= 86{\cdot}4 \times 10^{-9}\ \text{watt-seconds or J}$$
$$= 86{\cdot}4\ \text{nJ}$$
$$= 0{\cdot}0864\ \mu\text{J}$$

١ ــ ٥ توصـيل المقــاومات على التــوالى

يقال ان المقاومات متصلة على التوالى اذا انساب نفس التيار فى كل منها كما هو مبين بشكل ١ ــ ٣ .

هبوط الجهد او فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_1 ، هو IR_1 وبين طرفى المقاومة R_2 يكون IR_2 ؛ بينما تكون قيمته IR_3 بين طرفى المقــاومة R_3 . وتكون القوة الدافعة الكهربائية E مساوية لمجموع فروق الجهــد المذكورة . وذلك بفرض ان المقاومات الثلاث الموضــحة

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) \qquad (1-1)$$



ــ شكل ١ ــ ٣ دائرة تحتوى مقاومات متصلة على التوالى

بالشكل رقم ١ — ٣ | أ | قـــد ابدلت بمقاومة واحدة مكافئة مقدارها R_S كما هو موضح بالشكل رقم ١ — ٣ | ب | وبشرط أن لا تتغير قيمة التيـــار I في كلتاالحالتين . او بمعنى آخر

$$E = IR_S \qquad (١ — ٢)$$

ولكي تتكافأ الدائرتان كهربائيا ، ينبغي أن تتساوى كلتا المعادلتين رقمي | ١ — ١ | و | ١ — ٢ | للدائرتين الكهربائيتين . أى ان

$$E = IR_S = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

أو

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 \qquad (١ — ٣)$$

وهكذا تبين المعادلة رقم | ١ — ٣ | ان قيمة المقاومة المكافئة لدائرة تشمل مقاومات متصلة على التوالى تساوى المجموع الكلى للمقاومات المنفردة . وهكذا تكون قيمة المقاومة المكافئة اكبر من اقصى قيمة لاى من المقـــاومات التى تشملها هذه الدائرة .

مثال ١ — ٣ . وصلت ثلاث مقاومات على التوالى ضمن دائرة الكترونية بمصدر للجهد ضغطه 12V بحيث اصبحت قيمة التيار المـــار 6 mA . فاذا كانت قيمة احدى المقاومات 1 kΩ بينما بلغ فرق الجهد بين طرفى مقاومة ثانية 3.6V . احسب القيمة العـــــددية للمقـــاومة الثالثة .
الحل : الدائرة التى فى هذا المثال هى من النوع المبين فى شكل ١ — ٣ |أ| وحيث ان قيمة التيار I تبلغ 6 mA ، فبتطبيق المعادلة | ١ — ٢ | تكون المقـــاومة المكافئة للدائرة هى :

$$R_S = \frac{E}{I} = \frac{12\ \text{V}}{6\ \text{mA}} = \frac{12}{6 \times 10^{-3}} = 2000\ \Omega$$

اذا كانت $R_1 = 1\ \text{k}\Omega = 1000\ \Omega$ واذا كان فرق الجهد بين طرفى R_2 هو 3.6V ، وبما أن قيمة التيار المـــار تبلغ 6 mA : لذا تكون قيمة R_2 كما يلى :

$$R_2 = \frac{3{\cdot}6\ \text{V}}{6\ \text{mA}} = \frac{3{\cdot}6}{6 \times 10^{-3}} = 0{\cdot}6 \times 10^3\ \Omega = 600\ \Omega$$

والان

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

أو

$$2000 = 1000 + 600 + R_3 = 1600 + R_3$$

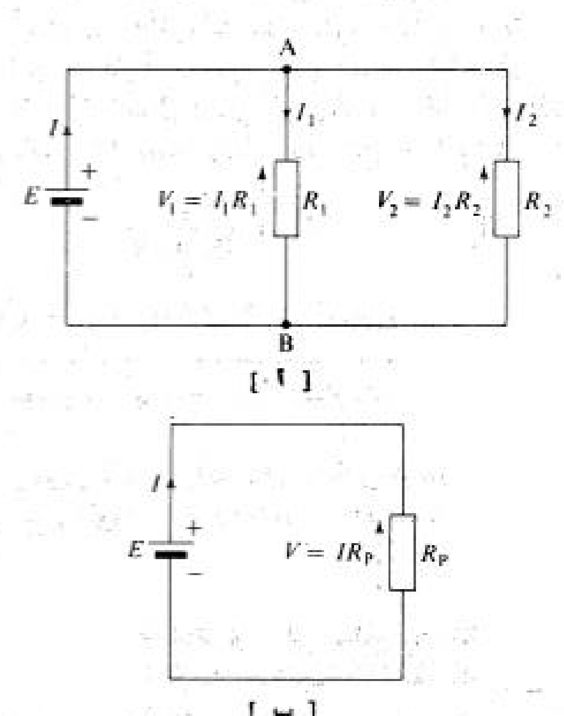
لذلك

$$R_3 = 2000 - 1600 = 400\ \Omega$$

١ — ٦ توصيل المقاومات على التوازى

يلاحظ أن فرق الجهد بين اطراف المقاومات المتصلة على التوازى ثابت ولا يختلف . ففى الدائرة الموضحة بالشكل ١ — ٤ [أ] يتساوى فرق الجهد V_1 على المقاومة R_1 مع فرق الجهد V_2 على المقاومة R_2 . ويتساوى كل من فرقى الجهد مع ضغط المصدر **E** . وهكذا يكون

$$E = V_1 = V_2 = I_1R_1 = I_2R_2$$



شكل ١ — ٤ دائرة مقاومات متصلة على التوازى

وحيث ان قيمة التيار الكلى الخارج من المنبع لا تتغير ، لذا فان قيمة التيار المـــار فى اتجاه التوصيلة **A** يتساوى مع مجموع التيارات الخارجة منهـــا . اى ان

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} = E\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (١ — ٤)$$

فاذا استبدلنا المقاومين الموضحين فى الشكل ١ — ٤ [أ] بمقـــاوم مكافىء مقـــداره R_P كماهو موضح بالشكل ١ — ٤ [ب] بحيث تتساوى قيمة التيار المـــار فى المقاوم R_P مع قيمة التيار الكلى **I** والذى يغذى مجموعة التوازى الموضحة بالشكل رقم ١ — ٤ [أ] فيكون

$$I = \frac{E}{R_P} \quad (١ — ٥)$$

وحيث ان قيمة التيار الذى يغذى كل دائرة لا تتغير ، فان

$$I = E\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{E}{R_p}$$

اى ان

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad (١ - ٦)$$

وبمعنى آخر ، تتساوى قيمة مقلوب المقاومة المكافئة لدائرة التوازى مع حاصل جمع مقلوب المقاومات كل على حدة . وينتج عن ذلك ان تقل قيمة المقاومة المكافئة لدائرة التوازى عن اصغر قيمة لاى من هذه المقاومات فى الدائرة ، فاذا اتصل مقاومان R_1 و R_2 على التوازى كحالة خاصة ، فان المقاومة المكافئة لهما تأخذ القيمة التالية :

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (١ - ٧)$$

اى = حاصل ضرب قيمة المقاومتين / مجموع قيمة المقاومتين

مثال ١ — ٤ يتكون الحمل الموصل لمكبر ترانزستور من مقاوم $10\ k\Omega$ متصلة بالتوازى مع مقاوم $100\ k\Omega$. احسب المقاومة المكافئة لمجموعة التوازى هذه .

الحل . حيث ان الدائرة تحتوى على مقاومين فقط ، فانه من الممكن استخدام المعادلة] ١ — ٧ [لايجاد المقاومة المكافئة كما يلى :

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10\,000 \times 100\,000}{10\,000 + 100\,000} = \frac{1\,000\,000\,000}{110\,000} = 9090\ \Omega$$

$$= 9{\cdot}09\ k\Omega$$

ويلاحظ أن قيمة Rp تقل عن اصغر قيمة لاى من المقاومين فى الدائرة

مثال ١ — ٥ . اذا مر تيار مقداره 1.1 mA فى مجموعة التوازى ، الموضحة بالمثال ١ — ٤ أحسب فرق الجهد الناشىء بين طرفى المجموعة وكذلك ما تستهلكه من قدرة كهربائية .

الحل . حيث أن $R_p = 9090\ \Omega$ فيكون فرق الجهد بين طرفى الدائرة

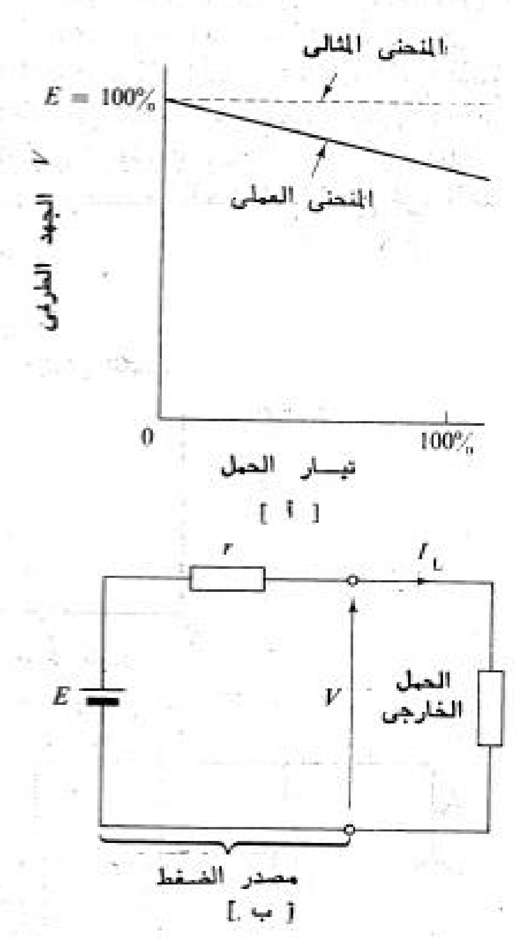
$$V = IR_p = 1{\cdot}1 \times 10^{-3} \times 9090 = 10\ V$$

وتصبح القدرة المستهلكة

$$P = VI = 10 \times 1{\cdot}1 \times 10^{-3} = 11 \times 10^{-3}\ W = 11\ mW$$

١ ــ ٧ مصـــادر الضــغط والتيـــار

« مصدر الضغط » هو الاسم الذى يطلق فى مجال الالكترونيات على مصادر القدرة التى تعطى جهدا يكاد يكون ثابتا مهما كانت قيمة التيار المسحوب . ويعتبر مصدر الضغط « نموذجيا » متى انعدمت قيمة مقاومته الداخلية وبالتالى يستطيع ان يحافظ على ثبات الجهد الطرفى مهما زادت قيمة التيار المغذى للحمل ويوضح الشكل ١ ــ ٥ [ب] خاصية مثل هــذه الدائرة



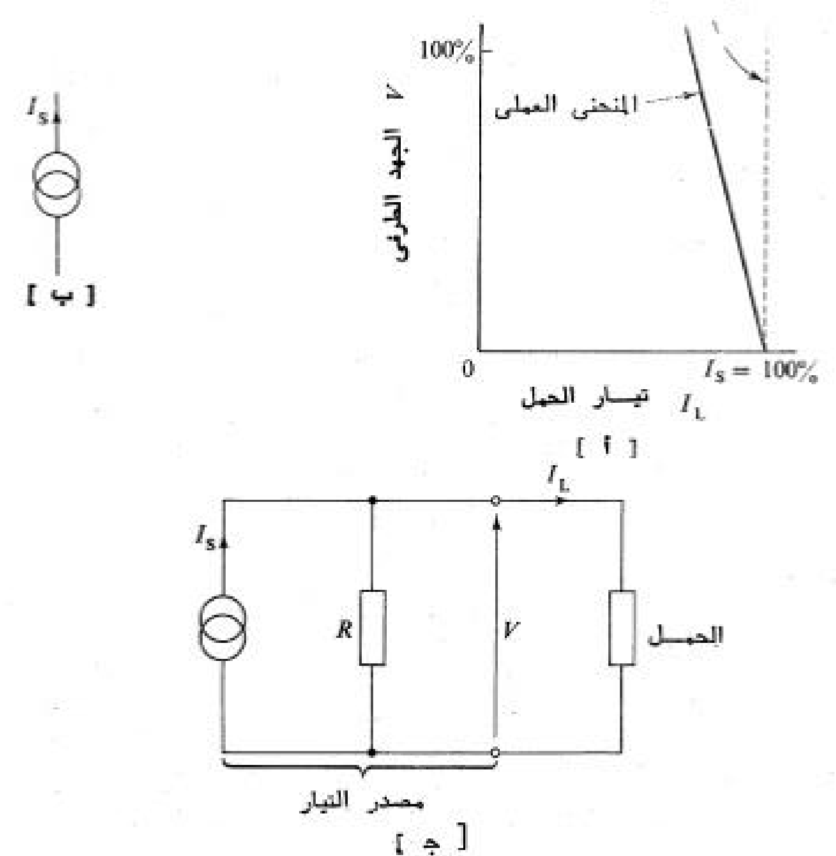
شكل ١ ــ ٥ [أ] خواص مصدر الضغط [ب] رسم دائرتها

وتمتلك مصادر الضغط المستخدمة فى الحياة العملية مقاومة داخلية ويقل جهد الطرفين كلما زادت قيمة التيار المسحوب . وتسمى الـــدائرة الكهربائية المكافئة لمثل هذا المصدر ، فى بعض الاحيان بمصـــدر الضغط المكافىء لثيفانينز وهو مبين بالشكل ١ ــ ٥ [ب] ويعطى جهد الطرفين V بالمعادلة التـــالية

$$V = E - Ir$$

حيث تكون E هى قيمة الضغط بين طرفى الدائرة فى حالة اللا حمل وتكون I هى قيمة التيار المسحوب فى حالة وجود الحمل بينما تكون r هى المقاومة الداخلية لمصدر الجهد ومن الضرورى ان تكون أقصى قيمـة لهبوط الضغط الداخلى Ir صغيرة اذا ما قورنت بقيمة E اذا ما اردنا اعتبار المصدر المغذى وكأنه « مصدر جهد » . ومن ضمن امثلة مصـادر التغذية التى تعتبر فى الحياة العملية كمصادر جهد توجد الخلايا الثانوية ومولدات التيار المستمر والمتغيرات وكذلك منظمات منابع الضغط التى تعطى ضغطا خارجيا ثابتا [أنظر فصل ١٥] .

أما « مصـدر التيـار » فيعتبر نموذجيا متى استطـاع المحافظة على ثبات قيمـة التيـار المغـذى للحمـل ، بصرف النظـر عن قيمة مقاومة هذا الحمل . لذا ، فان مثل هذا المولد للتيار يستطيع من الوجهة النظرية أن يحافظ على ثبات قيمة التيار حتى اذا اصبحت مقاومة الحمل صفرية [دائرة قصر] او بلغت قيمتها 1000 MΩ مثلا [دائرة مفتوحة فى الواقـع] ويوضـح الخط المتقطـع فى الشـكل ١ ــ ٦ [أ]



شكل ١ ــ ٦ خواص مصدر التيار [ب] اصطلاح الدائرة الكهربائية التى تمثل مصدر التيـار النموذجى [ج] الدائرة المكافئة لمصدر التيار المستخدم فى الحياة العملية .

خـواص مثل هذا المولد . ومن الصعب تنفيذ مثل هذه الدائرة من الناحية العملية ، حيث انه لابد ان تكون لديها القدرة من الناحية النظرية لاعطـاء

ضغط خرج لا نهائى . وعلى أية حـــال فمن الممكن ان تستخدم الدوائر الالكترونية للحصول على ما يقارب الى حد كبير مثل هذه الخواص المثــالية ولكن فى نطاق حدود من قيم التيار المسحوب .

ولكى يستطيع القارىء أن يدرك مضمون ما نعنيه بمصـــدر التيـار ، فربما يكون من الملائم أن نعتبره جهدا كهربائيا عاليا متصـــلا على التوالى بمقاومة كبيرة . فمثلا اذا كان هناك مصدر للتيار يمدنا بتيار قـــدره 1 mA فمن الممكن اعتباره كجهد كهربى قيمته 100 KV متصلا على التوالى مـــع مقاومة داخلية مقدارها $100\ M\Omega$. فاذا حدث قصر بين طرفى هذا المصدر فان تيارا كهربائيا يسرى قيمته $100 \times 10^3/(100 \times 10^6) = 10^{-3}$ A او 1 mA اذا تم توصيل حمل بين طرفى هذا المصدر بمقاومة قدرها 1000 فان التيار الكهربائى يتخذ القيمة التالية

$$100 \times 10^3/(100 \times 10^6 + 10^3) \simeq 10^{-3}\ A$$

ومن الواضح جدا ان القيم المذكورة أعلاه للجهد الداخلى والمقاومة غير عملية ، ومع ذلك ، فمن الممكن تصميم بعض الدوائر الالكترونية التى تتخذ ظاهريا مثل هذه القيم . ويوضح الشكل ١ ــ ٦ [ب] واحدا من الاصطلاحات المستخدمة لدائرة مصدر التيار ثابت القيمة .

أما الشكل ١ ــ ٦ [أ] فيبين خواص واحد من مصادر التيار المستخدمة فى التطبيقات العملية . وتتكون دائرته المكافئة كما هو مبين بالشكل ١ ــ ٦ [جـ] من مصدر مثالى للتيار ثابت القيمة وقد أوصل بين طرفيه مقاومة قيمتها R . ويسمى مثل هذا النوع من الدوائر « بالدائرة المكافئة لنورتن » بالنسبة لمصدر التيار . وتكتسب بعض معدات الترانزســتور والاجهزة الكهروضوئية صفات مصدر التيار بالنسبة لجزء محدد من خواصها .

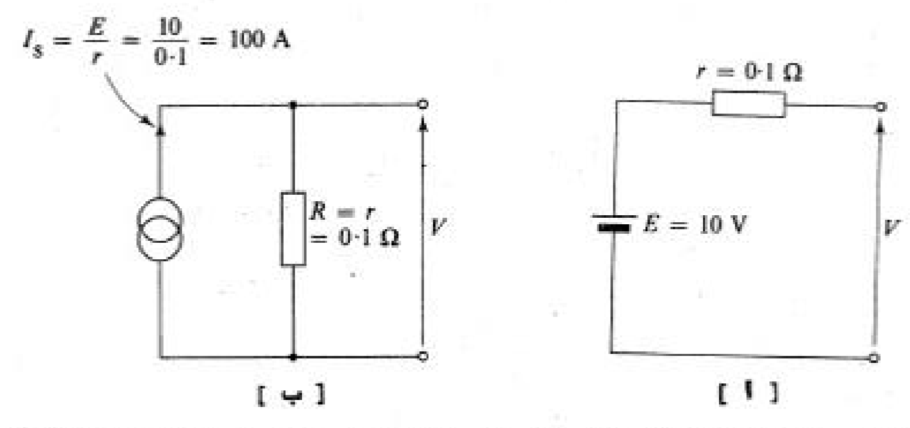
وقطعا ، من الممكن اعتبار خواص جميع مصادر القوة الكهربائية أما من طراز مصادر الضغط او من مصادر التيار . وتحدد العلاقة بين مجموعتى بالدوائر المكافئة الموضحة بالشكل ١ ــ ٥ [ب] والشكل ١ ــ ٦ [جـ] كما يلى :

$$R = r$$

و

$$I_s = \frac{E}{r} = \frac{E}{R}$$

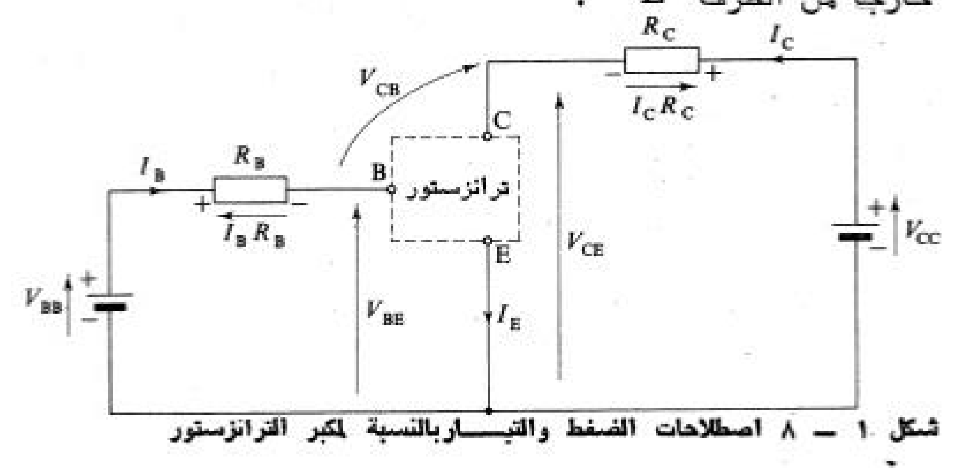
وهكذا ، نستطيع أن نمثل بطارية ذات جهد طرفى بدون حمل مقدارها 10 v ولها مقاومة داخلية مقدارها $0{\cdot}1\ \Omega$ باحدى الدائرتين الموضحتين فى الشكل ١ ــ ٧ .



شكل ١ ــ ٧ الدائرة المكافئة لمصدر الضغط ، [أ]والتى يمكن أن تستبدل بالدائرة المكافئة لمصدر التيـــار [ب]

١ ــ ٨ اصطلاحات الضغط والتيار المستخدمة فى الدوائر الكهربية

يبين على الرسم التخطيطى للدائرة اتجاه التيار المـــار خلال سلك معــدنى بسهم مرســوم على هذا السلك ، حيث يشير السهم للاتجاه الذى ينساب خلاله التيار . وتمثل الدائرة الموضحة بالشكل ١ ــ ٨ مكبرا بسيطا من الترانزستور ، حيث ينساب من خلاله التيار I_B متجها للطرف B ، وينساب التيار I_C متجها الى الطرف C ، بينما ينساب التيار خارجا من الطرف E .



شكل ١ ــ ٨ اصطلاحات الضغط والتيـــاربالنسبة لمكبر الترانزستور

ان الجهد الكهربائى لنقطة ما هو فرق الجهد بين هذه النقطة ونقطة اخرى ثابتة . وعادة ما تكون هذه النقطة الثابتة فى الدائرة الالكترونية اما متصلة بالارض او بشاسيه الجهاز . ويبين فرق الجهد بين نقطتين فى الــدائرة برسم سهم بين هاتين النقطتين كما هو موضح فى الشكل . ويقصد بفرق الجهــد V_{BE} جهد النقطة B بالنسبة الى E ويقصد بفرق الجهـــد

V_{CE} جهد النقطة C بالنسبة الى E ويكتب الرمز V_{CE} للشكل الموضح كفرق للجهد بين الطرفين C ، B حيث V_{BE} = جهد نقطة C بالنسبة الى B = [جهد C بالنسبة الى E] — [جهد B بالنسبة الى E]

$$= V_{CE} - V_{BE}$$

لذلك . اذا كان جهد C هو 6 V+ بالنسبة الى E، واذا كان جهد B هو 0·3 V+ بالنسبة الى E ، فان

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 6 - 0{\cdot}3 = 5{\cdot}7\ \text{V}$$

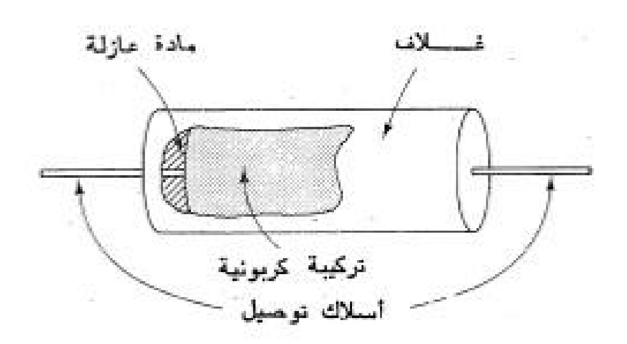
الفصل الثانى

المقاومات

تستخدم طرق كثيرة لصناعة المقاومات الثابتة والمتغيرة المستعملة فى الصناعات الالكترونية وسنوضح فيمايلى بعض الانواع الهامة منها :

٢ ـ ١ المقاومات الثابتة

المقاومات كربونية التركيب : تصنع المقاومات كربونية التركيب [انظر شكل ٢ ـ ١] بمزيج من الكربون المسحوق ومادة غير موصلة مثل مسحوق سيراميك [الفخار]



شكل ٢ ـ ١ مقاوم من مادة كربونية التركيب

تصب المـــادة بالشكل المطلوب ، والذى يكون عادة أسطوانيا ثم تجمـــد بالحرارة ويرش طرفا المقاومة بمعدن حتى يمكن عمل التوصيلات بالاسلاك الخـــارجية ، وهناك طريقة اخرى ، تتمثل فى كبس الطرفين بطاقيتين معدنيتين . وفى أغلب الاحوال يطلق اسم « المقاومات الكربونية » على مثل هذا النوع من المقاومات . وقد استخدمت هذه المقاومات كربونية التركيب بكثرة ولامد طويل فى مجال المقاومات الا ان انواعا اخرى بدأت فى منافستها. ويتم تصنيع مثل هذه المقومات بقيم تتراوح بين $10\,\Omega$ و $100\,M\Omega$ وتقاس قيم هذه المقاومات بعد تصنيعها وتصنف كمجموعات بقيم مفضلة [انظر

الفصل ٢ ـــ ٢] . وحيث ان قيمة كل مقاومة على حدة تختلف عادة عن القيمة الغالبة لكل مجموعة فانه قد اصبح من الشائع عمليا ان يحدد قيمة التفاوت المسموح به لكل مجموعة .

وهكذا ، فان المقاومة ذات القيمة الاعتبارية المحددة بـــ ١٠ أوم ، **ولها** تفاوت مسموح به مقداره 10% ± تقع قيمتها الحقيقية فى هذا المدى.

اقل قيمة = $10\,\Omega - (10\%\text{ of }10\,\Omega) = 10 - 1 = 9\,\Omega$

اكبر قيمة = $10\,\Omega + (10\%\text{ of }10\,\Omega) = 10 + 1 = 11\,\Omega$

ومن الممكن تقبل تفاوت فى المدى من **5%** ± الى **10%** ± فى احـــوال التشغيل العادية .

أما فى الاغراض الدقيقة فينبغى تضييق هذا المدى من التفاوت المسموح به

وتعتمد كمية الحرارة المسموح بها لكل مقاوم اذا مرر به تيار كهربائى على قدرته التقديرية والى حد كبير ، تعتمد القدرة التقديرية على ابعـــاد المقاوم حيث انها هى التى تحدد مساحة السطح المتاحة للاشعاع الحرارى.

وتبلغ القدرة التقديرية المعتادة لمثل هذه المقاومات الكربونية ما يعادل ¼ ، ½ ، 1 ، 2 وات . ويتم تصنيع بعض منها بسعات من القدرة اكبر من التى ذكرت . ويوضح الجدول ادناه بعضا من الابعاد المعتادة للمقاومات كربونية التركيب .

القطر (mm)	الطول (mm)	القدرة التقديرية (W)
2·5	8	¼
4	10	½
6	16	1
8	18	2

ويمكن حساب اقصى قيمة للتيار الكهربائى المسموح به لكل مقاوم على حدة بمعرفة قدرته التقديرية من هذه العلاقة .

القدرة التقديرية = [اقصى تيار] ٢ × المقاومة = I^2R

حينئـــــذ

التيار = $\sqrt{(R}$ (القدرة التقديرية / المقاومة

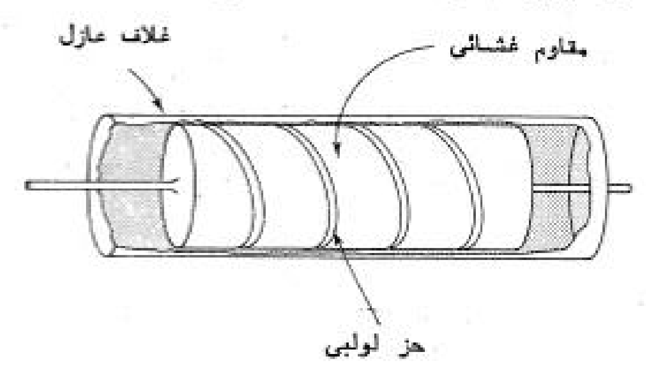
فالمقاوم $10\,\Omega$ الذى تبلغ قدرته **2 W** يمكن ان يتحمل تيارا بحد اقصى قدره

$$I = \sqrt{(2/10)} = \sqrt{0{\cdot}2} = 0{\cdot}45\text{ A}$$

وينبغى أن يدرك القارىء أن القيمة العادية للتيار فى الدوائر التى يتم تصميمها يقل عن الحد الاقصى . ومن المعلوم أنه فى حالة التشغيل المستمر

للمقاومات الكربونية بقدرتها التقديرية فان اى زيادة فى جهد المصدر او فى درجة الحرارة المحيطة سيؤدى الى تغير مناظر فى قيمة المقاومة . وعلاوة على ذلك ، فان ثبات قيم هذا النوع من المقاومات يعتبر غير مأمون على المدى الطويل ، فيمكن أن تتغير قيمة المقاومة الى ما يعادل خمسة فى المائة خلال عام واحد . ومن الممكن ان تنحرف قيمة هذه المقاومات الكربونية عن حدود التفاوت المسموح به ، اذا ما سرى بها تيار كهربائى زائد عن الحد او اذا ما تم تشغيلها فى جو شديد الحرارة . وفى بعض الاحوال ، تتغير قيمة المقاومات تغيرا طفيفا مع تغير قيمة جهد المصدر ولن يتسبب عن هذه العيوب الموضحة أعلاه اية قيود يمكن أن تحد من استخدام هذه المقاومات طالما أن تصميم الدوائر وتشغيلها قد تم على وجه صحيح . فقلة تكاليف وصغر حجم المقاومات كربونية التركيب تميزها اساسا عن كافة الانواع الاخرى .

المقاومات الغشائية : يتطلب تصميم المقاومات الغشائية نثر غشاء (film) متجانس من مادة ذات مقاومة حول سطح قضيب اسطوانى ويمكن زيادة مقاومة اى مقاوم بقطع حز لولبى فى هذا الغشاء وبذلك يتغير شكل مسار المقاومة بين الاطراف كما هو موضح بالشكل [٢ — ٣] .



شكل ٢ — ٢ مقاوم غشائى

وتوجد ثلاثة انواع مشهورة للمقاوم الغشائى ، منها الغشاء الكربونى ، غشاء الاكسيد المعدنى ، وكذلك الغشاء المعدنى . وعموما ، فمن الممكن أن تعتبر المقاومات الغشائية مصنعة على درجة قريبة من الدقة او انها دقيقة الصنع ، ويستخدم كلا الغشائين الكربونى والاكسى معدنى بكثرة فى الاغراض العامة كنتيجة للتطور فى الانتاج الاتوماتى . مقاومات الغشاء الكربونى [مقاومات الكربون المتشققة] ويصنع هذا النوع من المقاوم بامرار بخار الكربون المتشبع بالهيدروجين فى حالة نقية وعند درجة حرارة تبلغ حوالى 1000°C على قضبان من مادة خزفية . ويتحلل البخار [فيما يعرف بعملية التشقق] ويتكون غشاء رقيق من الكربون فوق القضبان وتصنع النهايات للتوصيلات الخارجية عند طرفى القضيب . وعندما تدعو الحاجة لمقاومات ذات خاصية عالية من الثبات فقد اعتبر مثل هذا النوع من المقاومات كبديل وحيد للمقاومات ذات السلك الملفوف . وقد اشتهرت مقاومات الغشاء الكربونى بالتالى على انها ذات قيم عالية من الثبات .

ولوقاية مقاومات الغشاء الكربونى من تلوث الجو فانه من المعتـاد طلاءها بعدة طبقات من اللاكيه او بطبقة لاكيه مغطاة بشريط من البلاستيك . وتحدث تغيرات كيمائية فى الغشاء كنتيجة لجو البحر ونسبة الرطوبة العـالية مما يؤدى الى تغير فى قيمة المقاومة وينبغى اتخاذ الاحتياط ايضا لعـدم تشغيل المقاومات لمدد طويلة خشية ان يحدث تفاعل كيمائى بين مادةالغشاء المقاوم والطبقة الواقية . كنتيجة للتزايد الفائق فى درجة الحرارة وتتعرض مقاومات الغشاء الكربونى للتآكل الالكترونى اذا ما وصلت اطرافها لضغط كهربائى مستمر مع تواجد جو رطب ، الا ان الطبقة الواقية تمنع هذا التآكل.

وتتراوح قيمة مقاومات الغشاء الكربونى عادة بين $10\,\Omega$ و $10\,M\Omega$ وبقدرات مقدارها $\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{4}$ ، 1 ، 2 W ويختار التفاوت المسموح به عادة لمثل هذا النوع بـ5% ولو انه من الممكن ايضا أن ينقص هذا التفاوت الى 2% ، 1% .

مقاومات غشاء الاكسيد المعدنى : ويطلق ايضا اسم مقاومات الغشـاء الاكسيدى وهى تتكون من آكسيد القصدير المترسب حول دليل تشكيل خزفى.

تتراوح قيم المقاومات ما بين $1\,\Omega$ الى $2\,M\Omega$ وتتراوح قيم التفاوت المسموح به من 1% الى 5% .

ويمكن تشغيل مقاومات الغشاء الاكسيدى على درجات حرارة أعلى من التى تشغل عليها مقاومات الغشاء الكربونى ولكن بقدر اقل من الثابت . ولهذا السبب يمكن اعتبار مقاومات الغشاء الاكسيدى فى بعض الاحيـان كمقاومات متعددة الاغراض طبقا لقدرتها التقديرية . فاذا حددت القدرة التقديرية لمقاومة الغشاء الاكسيدى بـ $\frac{1}{4}$ وات مثلا ، فانها تعتبر مقاومة ذات قيمة اقرب الى الدقة [أى ان مقاومتها تتغير بدرجة طفيفة مع التقادم ومع درجة الحرارة] ، اما اذا زيدت القدرة التقديرية الى $\frac{1}{2}$ وات فان المقاومة تعتبر فى هذه الحالة متعددة الاغراض . فاذا تم تشغيل هـذه المقـاومة بقدرة استهلاك تقارب 1 وات فانها تعتبر مقاومة قدرة .

مقاومات الغشاء المعدنى : ولمثل هذا النوع من المقاومات يتم تبخير غشاء معدنى رقيق من سبيكة النيكل والكروميوم فى العادة ، حول سطح اسطوانى عازل من مادة خزفية ، وفى جو مفرغ من الهواء . وكما يتبع فى الانواع الاخرى من المقاومات الاخرى الغشائية ، يمكن التحكم فى قيمة المقاومة بعمل قطع لولبى بالغشاء .

وتماثل المـادة المقاومة فى مثل هـذا النوع مقاومة السلك المستخـدم فى المقاومات ذات السلك الملفوف ، ولها الخواص الهامة الاتية :

[أ] تكون مقاومتها على درجة عالية من الثبات عندما يتم تشغيلهـا عند درجة حرارة ثابتة .

[ب] لها معامل مقاومة حرارى منخفض [م.م.ج] ، ويستحسن أن يكون معامل المقاومة الحرارى منخفضا ، حيث انه فى هذه الحالة يكون التغير فى المقاومة ضئيلا بالنسبة لكل تغير محدد فى درجة الحرارة . ومن الممكن التحصل على مقاومات الغشاء المعدنى ذات معامل مقاومة حرارى تتراوح قيمته بين 5 الى 100 جزء من مليون لكل درجة حرارة واحدة مئوية ، بينما تبلغ قيمة هذا المعامل اكثر من 1000 جزء من مليون لكل درجة واحدة مئوية من المقاومات كربونية التركيب . وعلى هذا يتضح من الارقام السابقة ان التغير فى المقاومة كربونية التركيب يتراوح بين عشرة امثال الى مائتى مثل للتغير الذى يحدث للمقاومة ذات الغشاء المعدنى وذلك بالنسبة لنفس التغير فى درجة الحرارة لكل منهما .

وعلى العموم ، فان تصنيع مقاومات الغشاء المعدنى يتم فى ثلاثة من التدرجات التالية : الطراز المقارب للدقة والطراز الدقيق والطراز المفرط فى الدقة . علما بأن هذه الانواع الثلاثة تتدرج فى ثبات قيمة مقاومتها وفى صغر قيمة التفاوت المسموح به لكل منها . فالمقاومات ذات الطراز المقارب للدقة تعطى تفاوتا مسموحا به بين 0.1 الى 1 فى المائة بينما يكون التفاوت المسموح به بالنسبة للطراز المفرط فى الدقة محصورا بين 0.001 الى 0.1 فى المائة .

مقاومات الغشاء السميك [مقاومات السيرميت] .

تصنع هذه المقاومات بأن يرسب غشاء سميك [فى العادة يبلغ سمكه مائة ضعف نظيره من مقاومات الغشاء الكربونى] مكون من خليط السيراميك والمعدن [سيرميت] حول سطح المادة السيراميكية . تسخن المقاومة فى فرن فتصبح مقاومة زجاجية ذات غشاء سميك .

عندما تصنع كل مقاومة على حدة فوق سطح اسطوانى عازل من المادة فانها تصبح مقاومة معدنية زجاجية او مقاومة السيرميت [وكلمة سيرميت مشتقة من المقطعين الاولين لكلمتى خزف ومعدن باللغة الانجليزية] ويمكن التحكم فى قيمة مقاومة المقاوم المطلوبة بعمل قطع حلزونى فى الشريط . وعادة تقدر قيم المقاومات المصنعة فى الحدود من 10 Ω الى 2.5 MΩ تقديرية بما يعادل 2 W وتنتج بعض المصانع مقاومتها بقيم تقع فى حدود اقل من المذكورة وبتقديرات تصل الى 8 وات ، وفى العادة يبلغ التفاوت المسموح به %1-5 بالنسبة لدى القدرات الاصغر بينما يصل الى %10 بالنسبة لدى القدرات الاكبر . وتكبل المقاومات بعد تصنيعها لتصبح وحدات صلبة قادرة على مقاومة الصدمات والاهتزازات او اية تقلبات عنيفة فى البيئة المحيطة .

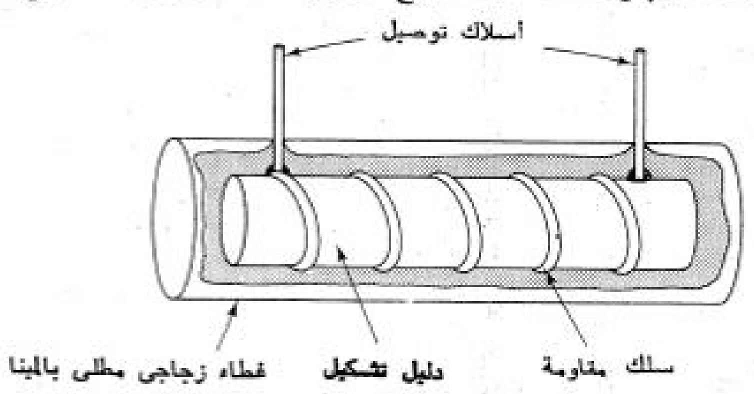
تستخدم شبكات من مقاومات الغشاء السميك فى دوائر محولات القيم الرقمية الى القيم التناظرية [انظر الفصل السادس عشر] وفى بعض

المعدات الالكترونية الاخرى وتصنع فوق سطح عازل من المادة الخزفية . وفى احدى طرق الانتاج التى تسمى طريقة « الطبع والحرق » ، يطبع الحبر والذى يدخل فى تركيبه السيرميت أو أى مادة اخرى مشابهة ، فوق السطح العازل من المادة الخزفية والتى حدد بها الشكل الهيكلى للمقاومات المطلوبة ثم تترك لتجف وبعدها تحرق فى احد الافران ومن الممكن طبع هياكل اخرى للمقاومات على نفس سطح المادة فى مرحلة لاحقة من عملية الانتاج ، على ان يستخدم حبر آخر من نوع مختلف حتى يعطى مقاومة نوعية مخالفة .

المقاومات ذات الغشاء الرقيق : تصنع مقاومات الغشاء الرقيق بترسيب المادة المقاومة ، بعد أن يتم تبخيرها فى جو مفرغ تماما من الهواء ، فوق سطح المادة العازلة ، وعادة ما تكون المادة المقاومة أما سبيكة نيكل وكروم او سبيكة نيكل وكوبلت . ويوجد تكنيك آخر لانتاج مقاومات الغشاء الرقيق يستخدم فيه التنتالوم المطلى بالالومنيوم . ومن الممكن ضبط قيمة المقاومة بخربشة غشاء المادة . وتتراوح قيم المقاومات المنتجة بين 1 Ω الى 50 MΩ مع تفاوت مسموح به يمكن اختياره فى المدى من 1-5% .

مقاومات السلك الملفوف : يصنع هذا النوع بلف عدة لفات من السلك على دليل تشكيل معزول . وتصنع مواد السلك من سبائك النيكل والكروم، التى تستخدم بكثرة ، بسبب مقاومتها النوعية المرتفعة ، ولان معامل مقاومتها الحرارى منخفض القيمة ، كما وان هذه المواد لها مقاومة ذات درجة عالية من الاستقرار .

وتضم مقاومات السلك الملفوف وحدات تقع فى المدى ابتداء من مقاومات القدرة الى تلك التى يمكن ان تتخذ قيما على درجة عالية من الدقة . وقد تتراوح قيم مقاومات القدرة ذات السلك الملفوف بين بضع وحدات من الوات وعدد من وحدات الكيلو وات . ولوقاية المواد المقاومة من تأثيرات الوسط المحيط ، تغطى أما بطبقة واقية من الطلاء الزجاجى [انظر شكل ٢ — ٣] او بخلطة من الرمل والاسمنت . هذا ومن الممكن تشغيل المقاومات المغطاة بالغطاء الزجاجى حتى درجة حرارة حوالى ٤٥٠°م ، بينما يمكن تشغيل الانواع الاخرى والمغطاة بخلطة السليكون والاسمنت حتى حوالى ٣٠٠°م علما بأن تكلفة النوع الاخير اقل من النوع الاول



شكل ٢ — ٣ مقاومة سلك ملفوف مكبلة ومغطاة بطبقة زجاجية .

ولـذلك يسـتخدم بـكثرة فى المعـدات الصـناعية والمنزلية .
وتتواجد مقاومات القـوى بقيم تتراوح بين 0·1 Ω الى 1 MΩ
بتفاوت مسموح به من 5% — 1

اما بالنسبة لمقاومات السلك الملفوف المستخدمة معمليا فيكون التفـاوت المسموح به محصورا بين 0.1% الى 0.01 % فقط .

٢ ـ ٢ قيـم المقـاوم المفضـلة

لاحظنا فيما سبق أن قيم المقاومات المستخدمة عمليا تقع فى مدى التفاوت المسموح به . فمثلا بالنسبة لمقاوم له قيمة اعتبارية قدرها 47 Ω وتفاوت مسموح به 10% تكون قيمه واقعة فى المدى

القيمة العظمى = 47 + 4·7 = 51·7 Ω

القيمة الصغرى = 47 − 4·7 = 42·3 Ω

وقد يبدو لاول وهلة ان القيمة الاعتبارية للمقاوم وقدرها 47 Ω هى قيمة اختيارية ، ولكنها فى الحقيقة هى قيمة واحدة من ضمن مجموعة القيم التى تغطى المدى المحصور بين 10–100 Ω بأقل عدد من المقاومات ، وكذا لتغطية المضاعفات العشرية لمثل هذا المدى . وتعرف هذه القيم على انها « القيم المفضلة » ، وقد ادرجنا جميع هذه القيم بالجدول [٢ — ١] لتفاوتات مسموح بها قدرها 20, 10, 5 فى المائة .

جدول [٢ — ١] القيم المفضلة للمقاومات للمدى من 10-100 Ω

	النسبة المئوية للتفاوت		
	5%	10%	20%
قيمة المقاومة المفضلة	10	10	10
	11		
	12	12	
	13		
	15	15	15
	16		
	18	18	
	20		
	22	22	22
	24		
	27	27	
	30		
	33	33	33
	36		
	39	39	
	43		
	47	47	47
	51		
	56	56	
	62		
	68	68	68
	75		
	82	82	
	91		

وتختار القيم المفضلة بحيث أن قيمة مقاومة المقاوم عند ادنى حد للتفاوت المسموح به تساوى بالتقريب قيمة مقاومة المقاوم الاقل « قيمة مفضلة » ، مباشرة عند اقصى حد للتفاوت المسموح به . وبالمثل ، تكون قيمة المقـــاوم عند اقصى حد للتفاوت المسموح به مساوية على وجه التقريب لقيمة مقاومة المقاوم الاكبر « قيمة مفضلة » مباشرة عند ادنى حد للتفاوت المسموح به . ويمكن توضيح ذلك بالنسبة للمقاومة 47 Ω بتفاوت مسموح به قدره 10% كما يلى :

القيمة الاسمية (Ω)	قيمة الحد الادنى (Ω)	قيمة الحد الاقصى (Ω)
39		42·9
47	42·3	51·7
56	50·4	

وفى التطبيق العملى يمكن الحصول على المضـــاعفات العشرية للقيم المدرجة فى الجدول [٢ — ١] . فمثلا ، بالنسبة للمقاومات كربونية التركيب يحتوى المدى المعتاد لمضاعفات المقاومة ذات القيمة 22 Ω القيم التالية .

22 Ω, 220 Ω, 2·2 kΩ, 22 kΩ, 220 kΩ, 2·2 MΩ

وحاليا يستخدم كثير من رجال الصناعة الرمز BS 1852 مـــع الرسم التخطيطى للدائرة لكى تعطى المعلومات التالية .

[أ] تحديد مكان العلامة العشرية فى قيمة المقاومة
[ب] تحديد المضاعف العشرى
[ج] وبالاضافة ، قد تعطى معلومات عن اختيار التفاوت المسموح به .

ومن الممكن تحديد مكان العلامة العشرية وكذلك قيمة المضاعف العشرى بواسطة الحروف الابجدية التالية .

الحرف	المضاعف	
R	× 1	
K	× 1 000	(3 zeros)
M	× 1 000 000	(6 zeros)
G	× 1 000 000 000	(9 zeros)
T	× 1 000 000 000 000	(12 zeros)

وتوضح الامثلة التالية طريقة استعمال هذه القائمة :

0·18 Ω	تكتب	R 18	1 kΩ	تكتب	1 KO
1 Ω	تكتب	1 R O	68 kΩ	تكتب	68 K
3·9 Ω	تكتب	3 R 9	1 MΩ	تكتب	1 MO
47 Ω	تكتب	47 R	22 MΩ	تكتب	22 M
100 Ω	تكتب	100 R	120 MΩ	تكتب	120 M

وتحدد الحروف التالية الرموز الاصطلاحية للقيم المنتقاة للتفاوت المسموح به

الحرف	المضاعف (٪ +)
B	0·1
C	0·25
D	0·5
F	1
G	2
J	5
K	10
M	20
N	30

وفيما يلى بعض الامثلة المعتادة

$$R18J = 0{\cdot}18\ \Omega \pm 5\%$$
$$47RK = 47\ \Omega \pm 10\%$$
$$1K0F = 1\ k\Omega \pm 1\%$$
$$4M7M = 4{\cdot}7\ M\Omega \pm 20\%$$

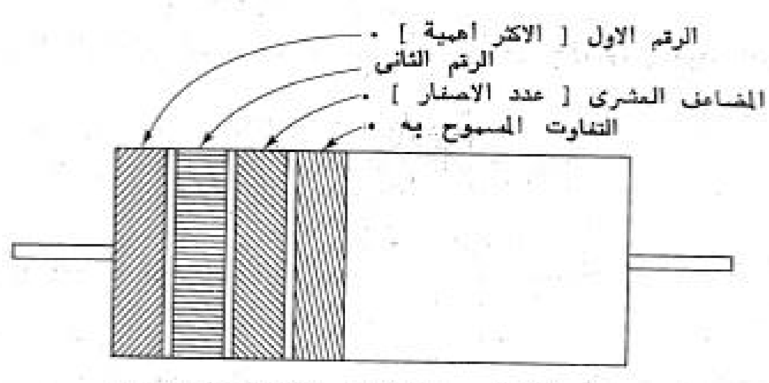
وتستعمل نسخة معدله من هذه الرموز الاصطلاحية مع المكثفات [انظر الفصل الثالث] .

٢ ـ ٣ الرمـوز الاصطلاحية لالوان المقـاوم

توضح قيمة المقاومة لمعظم المقاومات [ما عدا انواع السلك الملفوف] المستخدمة فى الالكترونات برموز اصطلاحية للالوان . وبالنسـبة للرمز الاصطلاحى المستخدم للمقاومات ذات النهايات المحورية تطبع اشرطةالالوان على جسم المقاومة فيما يعرف باسم « نظام الشريط الملون » [انظر شكل ٢ ـ ٤] ويوضح الجدول ٢ ـ ٢ رموز الالوان الاصطلاحية والمسـتخدمة عالميـا .

جـدول ٢ ـ ٢ رموز الوان المقـاوم

اللون	قيم اول وثانى ارقام تحت العشرة	المضاعف	عدد الاصفار الى يسار العلامة العشرية	التفاوت (٪)
فضى				
ذهبى		0·01		20
اسـود		0·1		10
بنى	0	1		5
أحمـر	1	10	1	1
برتقالى	2	10^2	2	2
أصفر	3	10^3	3	3
أخضر	4	10^4	4	4
أزرق	5	10^5	5	
بنفسجى	6	10^6	6	
رمادى	7	10^7	7	
أبيض	8	10^8	8	
	9	10^9	9	



شكل ٢ ــ ٤ الشريط الملون لرموز الالوان

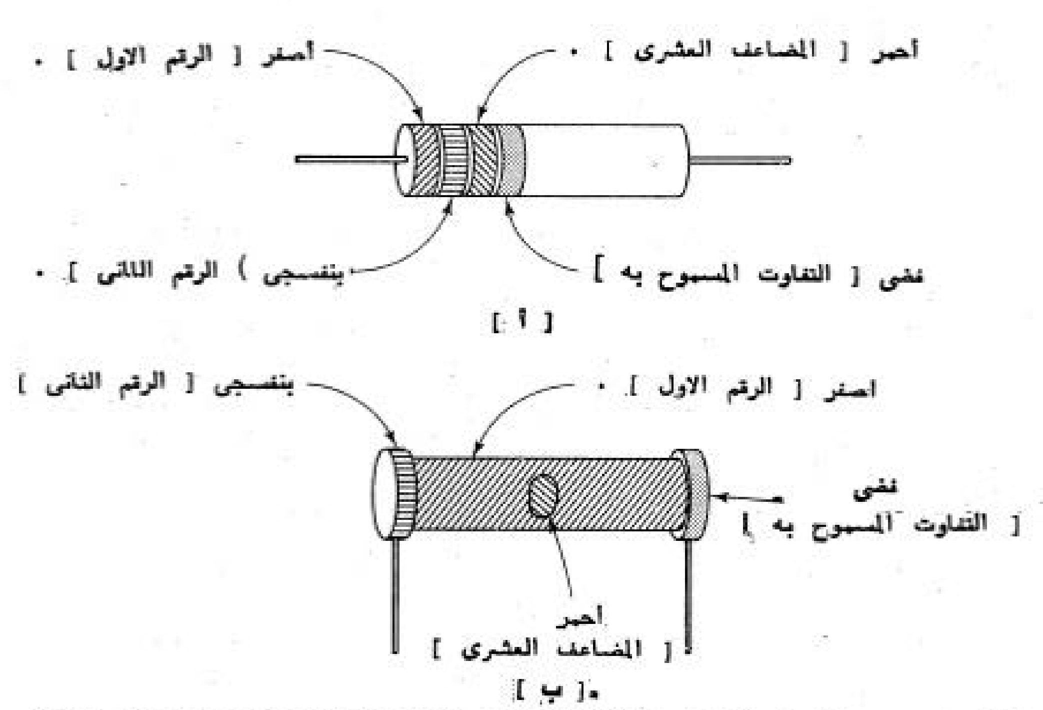
والجدول التالى يعتبر [أهداه السيد المهندس س.ج . و . ماشين من معهد شمال ستافورد شاير التكنولوجى للمؤلف] أداة مفيدة جدا للمساعدة على تذكر ترتيب رموز الالوان .

القيمة	اللـــــون	مساعد للتذكر
0	Black	Bye
1	Brown	Bye
2	Red •	Rosie
3	Orange	Off
4	Yellow	You
5	Green	Go
6	Blue	Bristol
7	Violet	Via
8	Grey	Great
9	White	Western

ويوضح الشكل ٢ ــ ٥ [أ] واحدا من الامثلة لاستخدام نظام شريط الالوان ، فقيمة الرقم الاول وهو الاكثر اهمية يعطى بشريط فى أقصى يسار شريط التفاوت المسموح به . أما قيمة الرقم الثانى فتعطى بشريط اللون الثانى ، ويعطى الشريط الثالث الملون قيمة المضاعف العشرى فاذا قرات القيم المأخوذة من الشكل ٢ ــ ٥ [أ] مع الاستعانة بالجدول [٢ ــ ٢] فاننا نتحصل على :

	اللون	القيمة	
اكثر الارقام اهمية	اصـــــفر	4	
اقل الارقام اهمية	بنفســـجى	7	
المضاعف	أحمر	2	أى صفرين
التفاوت	فضى	10 %	

وهكذا تكون قيمة المقاومة $4700\,\Omega \pm 10\%$. ويمكن بيان قيمة هذه المقاومة على الرسم التخطيطى للدائرة بـــ 4 K 7k . وعندما لا يتواجد شريط التفاوت المسموح به ، يفهم من ذلك أن التفاوت المسموح به يبلغ $\pm$ 20%



شكل ٢ ـ ٥ الرموز الاصطلاحية لالوان المقاومات [أ] نظام الشريط الملون و [ب] نظام نقطة وطرفا الجسم .

يوضح شكل ٢ ـ ٥ [ب] الطريقة القديمة غير المستخدمة حاليا والتىكانت تستخدمرموزا دوليةللالوانوتسمى نظامنقطة ـ وطرفا ـ الجسموهذهالطريقة هى اقل شيوعا من نظام الشريط الملون . وفى هذه الطريقة القديمة يعطى لون الجسم قيمة الرقم الاول [وهو الاكثر اهمية] بينما يحدد لون الطرف ، الذى يقع فى اقصى يسار لون التفاوت المسموح به ، قيمة الرقم الثانى . اما قيمة المضاعف فتحدد قيمته بلون النقطة فوق الجسم وبالمثل ، يمكن تحديد قيمة المقاومة الموضحة بالشكل ٢ ـ ٥ [ب] بـ ـــ 4.7 kΩ وإذ تعتبر طريقة الرموز الاصطلاحية الالوان مناسبة لتحديد قيمة المقاومات الا ان لها عدة عيوب هى :

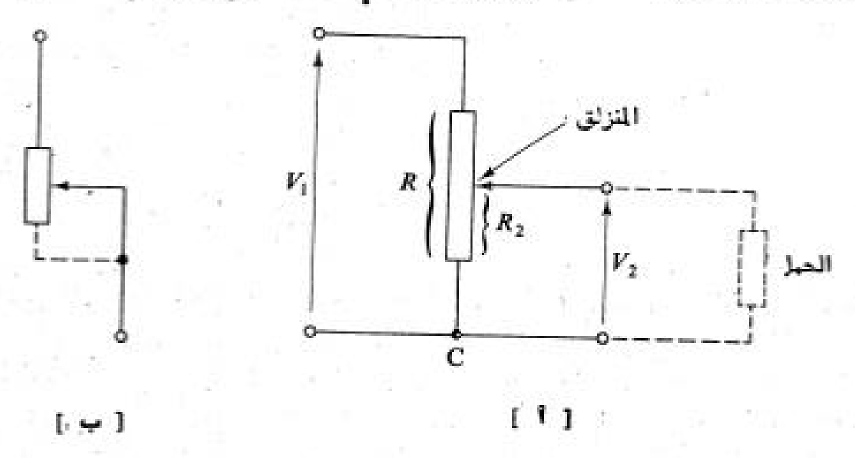
[أ] من الممكن ان تتغير الالوان مع القدم وكثرة الاستعمال .
[ب] يحتمل أن يتغير اللون ظاهريا تحت ظروف الاضاءة الصناعية .
[جـ] يعانى عمال الصيانة المصابون بعمى الالوان صعوبات لتحديد قيم المقـــاومات .

٢ ـ ٤ المقـاومات المتغيرة ومقياس الجـهد [بوتنشيومتر]

مقياس الجهد هو مقسم للجهد انظر شكل [٢ ـ ٦] حيث تتحدد قيمة فولت الخرج V_2 بكل من فولت الدخل V_1 وكذلك حركة المنزلق على مقياس الجهد . وتتحدد قيمة فولت الخرج فى حالة اللاحمل بما يلى :

$$V_2 = V_1 \times R_2/R \quad \text{volts}$$

ويعتبر مقياس الجهد خطيا اذا وجد تناسب بين V_2 وحركة المنزلق المقاسة من النقطة المشتركة C وفى هـذا النـوع من المقـومات ،



شكل ٢ ــ ٦ [أ] مقياس الجهد [ب] مقاوم متغير

تكون العـلاقة على الرسـم الذ ى يبين تغير V_2 مـع حركة المنزلق عبـارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الاصـل . وفى العـادة ، تحيد العلاقة التى نحصل عليها بالنسبة للمفرقات العادية عن الخط المستقيم الا ان الانحراف عن الخط المستقيم يقل عن مقدار 0.5% فى مقاييس الجهد دقيقة الصـنع .

وعندما يراد استخدام الجهاز كمجرد مقاومة متغيرة ، تنفذ التوصيلة الموضحة بالشكل ٢ ــ ٦ [ب] وفى بعض الاحيان ، يكون من الانسب ربط النهاية غير الموصلة العنصر بالمنزلق كما هو مبين بالتوصيلة الظاهرة بالخط المتقطع فى شكل ٢ ــ ٦ [ب] .

وتتغير قيمة المقاومة لكثير من مقاييس الجهد المستخدمة فى المعـدات السمعية بنسبة لوغاريتمية مـع حركة المنزلق . ويعرف هـذا النوع من المفرقات ، بمقاييس الجهـد اللوغاريتمية . ويسـمح مثل هذا الطراز من مقاييس الجهد بمواءمة الاجهزة السمعية مع استجابة أذن الانسان .

ويبين الجدول الاتى تدرج الاصناف الشائعة لمقاييس الجهد والمقاومات المتغيرة

نوع مقياس الجهد	خصـائصه
قـدرة مرتفعـة	سـعة القدرة له أكبر من 7W
اغـراض عامـة	سـعة القدرة أقل من 7W
مضـبوط مقـدما	مقاييس جهد رخيصة الثمن، يمكن أن توجد بغير كبسولة تستعمل نادرا للضبط
مـرتب الحمـولة دقيـق	مثل النوع السابق ولكنه اغلى وجودته مرتفعـة خطى الانحراف عن الخط المستقيم اقل من 0.5% عـادة .

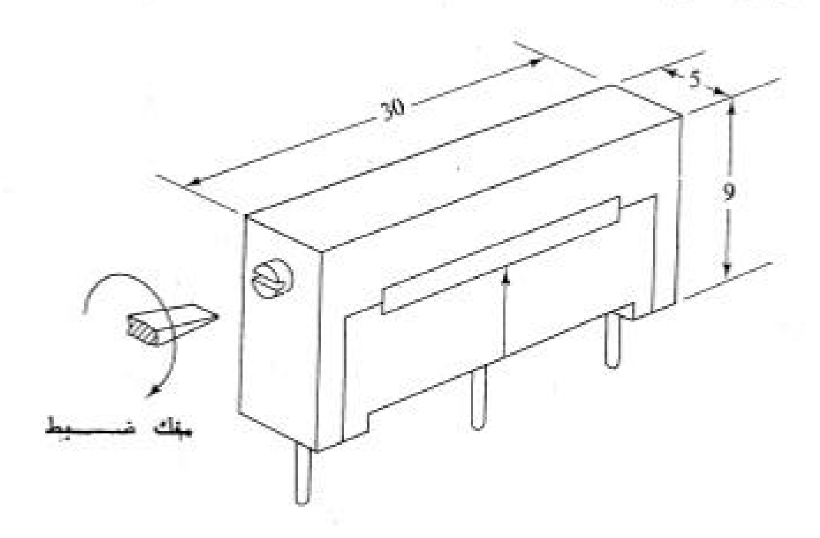
أشكال مسارات مقاييس الجهد : تقع أشكال المسارات المستخدمة فى مقاييس الجهد فى ثلاثة تشكيلات عريضة هى :

[أ] مستقيمية الاضلاع [خطية] .

[ب] على هيئة قوس

[ج] لولبية أو متعددة اللفات .

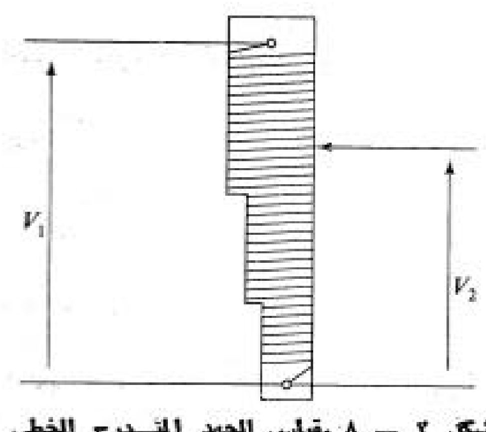
عناصر المقاومة الخطية : ولها منزلق يتحرك فى خط مستقيم على طول العنصر المقاوم . وتشمل التطبيقات المعتادة لمثل هذا النوع من بعض المقاومات المتغيرة ذات القدرة المرتفعة والمستخدمة فى الاغراض العـامة وكذلك أغراض التحكم فى أجهزة hi-fi ومغذيات الاستديو . ولامكانية التحكم الدقيق فى وضع المنزلق ، يدمج دليل بارز للمفك مع الجزء المتحرك بينما يعشق المنزلق ميكانيكيا مع ترس تخفيض السرعة . ويوضح شكل ٢ ــ ٧ ، مثلا لهذا النوع السابق ، على صورة مقاوم خطى مرتب الحمولة ومناسب للاستعمال ضمن لوحة من الدوائر المطبوعة . والابعاد المبينة بالشـكل هى بالمليمترات وسعة مثل هذه الوحدة يكون بين 0.5 — 0.75 W .



شكل ٢ ــ ٧ كبسولة مقـاوم خطى مرتب الحمولة [الابعاد بالمليمترات]

فى بعض التطبيقات ، مثل تنظيم تيار المجال للمحركات الكهربائية ، تكون المقاومة متدرجة لتعطى مقاومة لا تتغير بانتظام مع الطول . ويبين الشكل ٢ ــ ٨ احدى أنواع مقاييس الجهد المتدرجة الخطية .

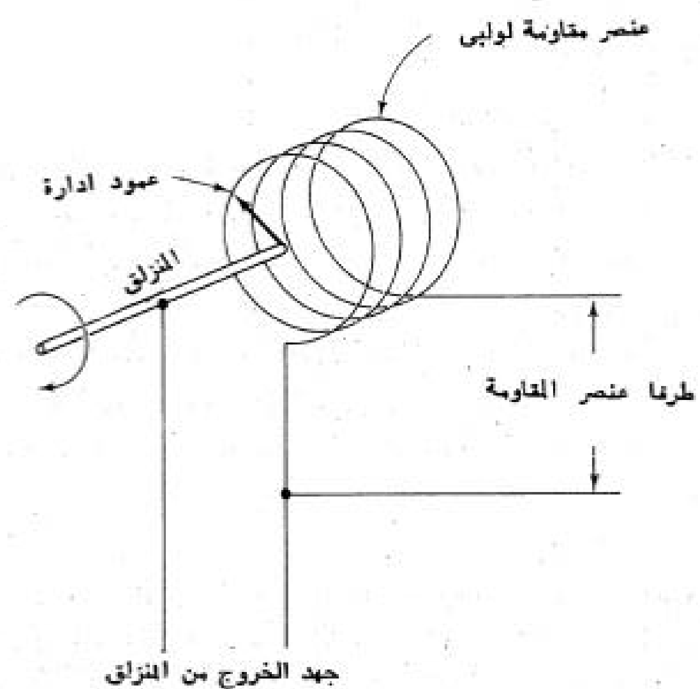
وتصنع مقاييس الجهد ذوات اللفة الواحدة والتى يشكل مسارها على هيئة القوس لجميع الاغراض ابتداء من النوع المستخدم للقوة الكبيرة حتى ذلك النوع المستخدم فى الاغراض الدقيقة . والاعتماد على لفة واحدة لا يؤدى الى درجـة كافية من الـدقة ، حيث أن زاوية الـدوران تـكون



شكل ٢ — ٨ مقياس الجهد المتـدرج الخطى

فى العـادة بين °330 — 300 ولا تصل الى °360 كاملة وفى الحقيقـة ، تدعو الحـاجة ، بالنسبة لبعض الاغراض التطبيقية بالغة التخصص الى مقاييس جهد بزاوية دوران مقدارها °360 . ففى بعض أنواع الحاسبات الالكترونية ، مثلا ، تستخدم مولدات للدالة الجيبية ، حيث توجـد عـلاقة بين خرج الجهد وبين جيب او جيب تمام زاوية دوران عمود الادارة .

ويأخذ الجزء المقاوم من مقاييس الجهد ذوات المسار اللولبى [او متعدد اللفات] شكلا لولبيا متعدد اللفات. ويوضح شكل ٢ — ٩ فكرة مقياس الجهد لولبى المسار الذى يعطى ما يكافىء زاوية دوران مقدارها °3600 اذا ما احتوى عشر لفات . ومن الممكن ادارة عمود الادارة بواسطة آلة تروس مناسبة ، بينما يمكن تحديد وضع المنزلق بأرقام يمكن قراءتها عن طريق مؤشر يتحـرك ميكانيكيا .



شكل ٢ — ٩ التركيب الاساسى لمقياس الجهد لولبى المســار .

أنواع العناصر المستخدمة فى مقاييس الجهد : يمكن القول بصفة عامة ، ان اكثر أنواع عناصر المقاومات شيوعا هى :

[أ] الـــــكربون

[ب] السيرميت

[ج] البلاستيك الموصل

[د] السلك الملفوف

تنقسم عناصر المقاومة المستخدمة فى مقاييس الجهد الى نوعين هما ، المسار الغشائى والمسار المشكل . ويتكون النوع الاول من لاكيه الكربون الراتينجى الذى يتم رشه على قاعدة عازلة . أما النوع الثانى فيصنع بتشكيل مسار الكربون الراتينجى على الساخن من داخل هيكل مقياس الجهـــد . وتستخدم مقاييس الجهد الكربونية فى أكثر التطبيقات التى تدعو الحاجة اليها فى الاغراض العامة وكذلك فى اســتعمالات مقاييس الجهد التى تم ضبطها مقـــدما .

مقاييس الجهد السيرميتية . ينتج هذا النوع بتصنيع غشاء سميك من المادة المقاومة فوق قاعدة السطح العازل [انظر شكل ٢ — ١] . وحيث أن هذا الغشاء متصل فانه يكسب المـــادة صلابة دائمة ويسمح بالتشغيل عنـــد درجات الحرارة المرتفعة . وتمثل مقاييس الجهد المنظمة الحمولة ، من النوع الدورانى ، والنوع الخطى ، معظم تطبيقات مثل هذا النوع من المواد .

البلاستيك الموصل . ويتخذ مثل هذا النوع مسارا من جسيمات الكربون الدقيقة التى يتم توزيعها بانتظام على مادة راتينجية تصل عند التسخين ويكتسب المسار الناتج صلابة دائمة وتزيده مدة التشغيل عن المدة المتوقعة فى كافة الانواع الاخرى [فى العادة من 10 الى 50 مرة] . وتمثل الخاصية الاخيرة أهم الظواهر البارزة لمثل هذا النوع من مقاييس الجهد . وتميل قيمة مقاومة التماس بين المنزلق والمسار للارتفاع مما يؤدى الى الحد من قيمة التيار الذى يمكن استخراجه من المنزلق . ويمتص عنصر البلاستيك الرطوبة مما يؤدى الى تغيرات فى قيمة المقاومة لا تتعدى نسبتها حوالى 7%

هذا وتوجد مقاييس الجهد ذوات السلك الملفوف من جميع الانواع ابتداء من تلك التى تتصف بالدقة حتى تلك الانواع المستخدمة فى اغراض القوى وتصنع اما على اشكال خطية أو دورانية ومن لفة واحدة أو حتى بضع لفات .

٢ ـ ٥ المقاومات الحرارية [الثرمستور]

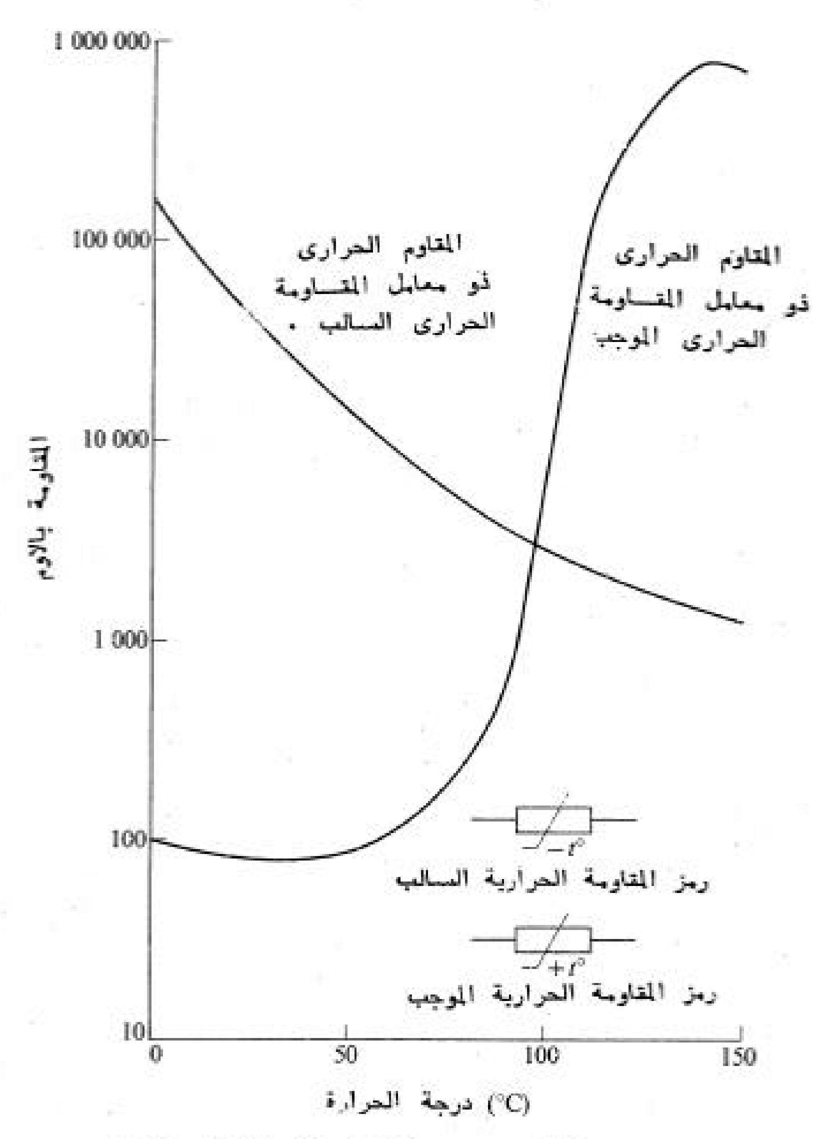
المقاوم الحرارى هو مقاوم حساس للحرارة تتغير مقاومته مع درجة الحرارة . ويستخدم نوعان من هذا المقاوم الحرارى هما المقاوم ذو معامل المقاومة الحرارى السالب ، والذى تقل مقاومته مع ازدياد درجة الحرارة ، والاخر ذو معامل المقاومة الحرارى الموجب ، والذى تزيد مقاومته مع ازدياد درجة الحرارة .

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى السالب (N.t.c.)

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى السالب هى معدات اشباه الموصلات الذاتية التى تزداد خاصية توصيلها مع ارتفاع درجة الحرارة [او تقل مقاومتها مع ارتفاع درجة الحرارة] ، كما اوضحنا فى الباب الاول. ويوضح الشكل ٢ ـ ١٠ جزءا من منحنى العلاقة التى تربط المقاومة بدرجة الحرارة لواحد من الاجهزة المعتادة ذات معامل المقاومة الحرارى السالب. وتتخذ درجات الحرارة ، التى يتم تشغيل هذه هذه المعدات عليها ، مدى يبدأ من 60°C — الى 400°C + بالتقريب . وتستعمل هذه المعدات فى اجهزة القياس ومحولات الطاقة الصغيرة المستخدمة لقياس الحرارة ، وعلى سبيل المثال تستخدم كعنصر حساس للحرارة لقياس درجة حرارة الماء بالنسبة لمحركات السيارات . وتشمل بعض التطبيقات الاخرى قياس معدل سريان الموائع وكاشفات مستوى السوائل ، الخ ... كما تستخدم فى التطبيقات الالكترونية بكثرة وعلى سبيل المثال المذبذبات ودوائر الاتصالات واجهزة قياس القوى ذات الذبذبات العالية ... الخ .

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى الموجب : (P.t.c.)

تمتلك بعض اشباه الموصلات خواص مشابهة لتلك التى يعبر عنها المنحنى الايمن فى شكل [٢ ـ ١٠] وتسمى المقومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى الموجب . وعندما ترتفع درجة الحرارة من 50°C الى 150°C فان هذا المنحنى يوضح تزايدا مفاجئا فى قيمة المقاومة . ونظرا لهذا التغير السريع فى قيمة المقاومة عبر هذا المدى القصير [نسبيا] من درجات الحرارة فان هذا النوع من المقاومات يسمى « المقاوم الحرارى اللحظى ذا معامل المقاومة الحرارى الموجب » .



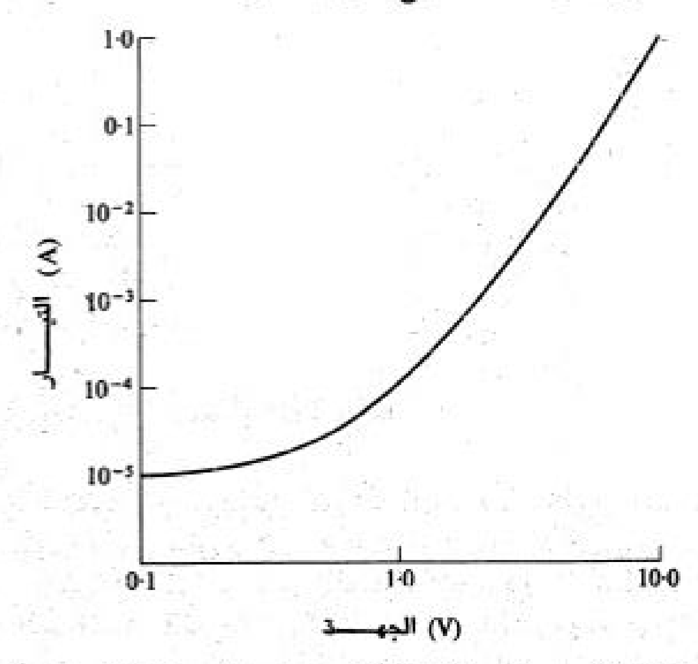
شكل ٢ ـــ ١٠ المنحنيات المميزة للمقاوم الحرارى

يشيع استعمال المقاوم الحرارى اللحظى ذى معامل المقاومة الحرارى الموجب فى الدوائر الالكترونية عندما يراد وقف المغنطيسية بالنسبة لصمامات التليفزيون الملون . فلكي يمكن المحافظة على تسجيل اللون الصحيح ، يتحتم أن تتكرر بدرجة معقولة عمليات محو المغنطيسية من الصمام . وانسب وقت للقيام بهذه العملية هو عند بدء تشغيل جهاز الاستقبال . وهكذا يوصل المقاوم الحرارى ذو معامل المقاومة الحرارى الموجب على التوالى مع ملفات محو المغنطيسية من الصمام ونظرا لبرودة المقاوم الحرارى عند بدء تشغيل جهاز الاستقبال ، فان مقاومته تكون منخفضة ، وبناء على ذلك ينساب تيار متغير ذو قيمة كبيرة فى دوائر الملفات والمقـاوم الحرارى وبسبب الحرارة المتولدة عن هذا التيار يصل المقاوم الحرارى الى « درجة الحرارة الفاصلة » ، عندما تصل قيمة المقاومة لقيمتها العظمى فى هذه اللحظة ويؤدى هذا بالتالى لسرعة نقصان قيمة التيار المار فى ملفات محو المغنطيسية

وهو التأثير المرغوب بالنسبة لصمام التليفزيون وتستخدم المقاومات الحرارية اللحظية ذوات معامل المقاومة الحرارى الموجب أيضا وبكثرة فى دوائر وقاية المحرك الكهربائى من زيادة الحمل .

٢ ـ ٦ المقـاومات تابعـة الجهـد

المقاومات تابعة الجهد هى أجهزة تقل مقاومتها مع ازدياد الجهد المؤثر على اطرافها ، ويوضح الشكل ٢ ـ ١١ العلاقة التى تربط كلا من الجهد والتيار لنوع شائع من مثل هذه المقومات . ويطلق ايضا أسم « الفاريستور » باللغة الانجليزية على مثل هذا النوع من المقاومات .



شكل ٢ ـ ١١ العلاقة بين الجهد والتيار للمقاوم تابع الجهد [الفاريستور)

ومن المعتاد تصنيع هذه الاجهزة من كربيد السليكون وتستخدم أساسا فى مجال وقاية المعدات الكهربائية من الارتفاع المفاجىء فى الضغط . توصل المقاومة تابعة الجهد على التوازى مع الجهاز المراد وقايته وعندما يحدث أى اندفاع مفاجىء للضغط بين طرفى الجهاز ، فان مقاومة الفاريستور تقل لحظيا وبذلك تمتص جزءا من الطاقة المباغتة فتنكسر حدتها .

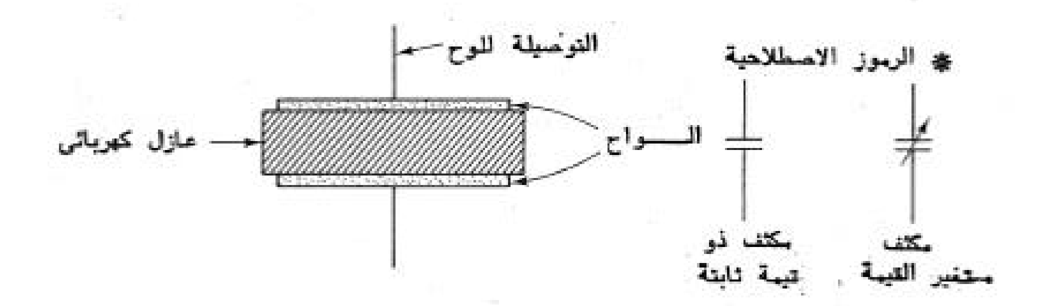
الفصـل الثـالـث

المكثفـــــــــات

المكثفات هى انبطة لديها القدرة على تخزين الطاقة الكهربائية ، وهى ذات اهمية حيوية بالنسبة للدوائر الالكترونية . وتشمل الخصائص الاخرى للمكثفات قدرتها على تغيير زاوية الطور بين التيار والجهد فى دوائر التيار المتغير [انظر الفصل السادس] ، وحقيقة اخرى هى أن قيم مفاعــلات المكثفات تتغير مع تغير تردد المصـــدر .

٣ ــ ١ فكـرة عمـل المكثـف

يتكون المكثف من موصلين يعرف كل منهما باللوح المعدنى او الالكترود ويوجد بينهما وسط عازل باسم « العازل الكهربائى » ويوضح الشكل ٣ ــ ١ التركيب الاساسى للمكثف ذى اللوحين المتوازيين . فالمــادة العازلة تحتفظ بالطاقة الكهربائية المختزنة فى المكثف . وتستخدم مواد عازلة منها : الهواء ، والورق المشرب ، ومواد من البلاستيك ، والميكا ، ومواد من السيراميك .



شكل ٣ ــ ١ مكثف بسيط مكون من لوحين متوازيين

سنصف فيما يلى ميكانيكية تخزين الشحنة . فمن الممكن من وجهة النظر الالكتروستاتيكية اعتبار أن جزيئات المــادة العازلة مكائنة لقضبان صغيرة

ممغنطة وانما ذوات « اقطاب كهربائيـــة » موجبة وســـالبة فعنــدما يكون المكثف مفرغا تبطل « اقطاب » الجزئيات مفعول بعضها البعض حيث تنعــدم الطاقة المختزنة فى المكثف . فاذا ما سلط جهد ثابت بين لوحى المكثف ، تنتظم الجزئيات فى نفس اتجاه المجـــال الكهربى بتأثير القوة الكهربائية الناشـــــئة .

وفى التو ، يتواجد عجز فى الالكترونات باللوح الموصل للقطب الموجب بينما يحتوى اللوح الموصل بالقطب السالب على فائض من الالكترونات . فاذا تم فصل مصدر الجهد تستمر فاعلية جزيئات المادة العازلة وتختزن الطاقة فى العازل الكهربائى .

ويلاحظ انه من الممكن قياس فرق الجهد بين طرفى المكثف بعد فصله عن مصدر الجهد . ويستمر فرق الجهد هذا لمدة من الزمن تختلف من عدة دقائق الى عدة أيام طبقا لقيمة المقاومة التسربية للعازل . ويقل فرق الجهد بمعدل فى غاية البطء اذا ما ارتفعت قيمة المقاومة التسربية ، وتسمح القيمـــة المنخفضـة للمقاومة التسربية للشحنة بالتسرب بمعدل أسرع .

فعند التعامل مع الدوائر الالكترونية ، ينبغى التأكد أن المكثفات كبيرة السعة قد افرغت تماما ، والا اصبح من المحتمل التعرض لصدمة كهربائية نتيجـــة للشـــحنة المختــزنة . ومن المـــكن تفريـــغ المـــكثفات بأمـــان بـــأن توصـــل مقـــاومة مقـــدارها حـــوالى 1 kΩ بين طرفى المكثف لمدة قصيرة . كما يجب أن يتأكد مهندسو الصيانة ، عند استبدال المكثفات التالفة ، ان جهد التشغيل للمكثفات البديلة صحيح ، ذلك انه يوجد احتمال لانفجار هذه المكثفات البديلة ، اذا تم تشغيلها على قيم اعلى من جهدها المقنن بسبب احتمال تولد بعض الغازات من داخل المـــكثف .

٣ ـ ٢ وحـــدات الســـعة الكـــهربية

تعرف قدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربية بالسعة الكهربية أو السعة ، ويرمز لها بالرمز C . والفاراد هو وحدة السعة ويرمز له بالحرف F وتقدر سعة المكثف بالعلاقة التالية

$$\text{السعة بالفاراد} = \frac{\text{الشـــحنة المخزونة [بالكولـــوم]}}{\text{فرق الجهـــد بين الالواح [بالفـــولت]}}$$

أو

$$C = \frac{Q}{V} \text{ farads (F)}$$

اذا كانت قيمة فرق الجهد بين طرفى المكثف 10 V عندما كانت الشحنة المختزنة 100 ميكرو كولوم ، فان

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{100 \times 10^{-6}}{10} = 10 \times 10^{-6}\ \text{F} = 10\ \mu\text{F}$$

وحيث ان الفاراد يعتبر وحدة كبيرة جدا للسعة لذا تستعمل وحدات الميكروفاراد (µF) والنانوفاراد (nF) والبيكوفاراد (pF) فى التطبيقات العملية علما بأن

$$1\ \mu\text{F} = 10^{-6}\ \text{F} = 1000\ \text{nF} = 1\,000\,000\ \text{pF}$$
$$1\ \text{nF} = 10^{-9}\ \text{F} = 0{\cdot}001\ \mu\text{F} = 1000\ \text{pF}$$
$$1\ \text{pF} = 10^{-12}\ \text{F} = 10^{-6}\ \mu\text{F} = 0{\cdot}001\ \text{nF}$$

هذا وتقل قيم السعة لمعظم المكثفات المستخدمة عن 0·01 µF بينما يستخدم عـــدد قليل من المكثفـــات بقيم كبيرة جـدا [تصـــل الى حوالى 10000 µF] فى اغراض القوى الكهربائية وشبكاتها .

٣ ـ ٣ سماحية المواد العازلة

عند تسليط فرق جهد بين طرفى المكثف يتكون فيض كهربى فى العازل . وسماحية العازل تناظر الموصلية بالنسبة للموصل الكهربائى . فعند فرق جهد معين يستبدل عازل المكثف بآخر ذى سماحية اكبر ، فان الفيض الكهربى فى العازل يزداد لنفس فرق الجهد . اذن ، باستعمال عازل له سماحية اكبر نحصل على سعة اكبر لكل وحدة حجوم . ويستخدم الرمز ε [وهو رمز يونانى ينطـــق ابسلون] للسماحية ووحـــدته تقـــدر بالفاراد لكل متر . وفى التطبيق العملى ، يكون من الانسب الرجوع الى السماحية النسبية ورمزها ε_r وهى نسبة بين سماحية المادة وسماحية الفراغ ، حيث :

$$\text{السماحة النسبية} = \varepsilon_r = \frac{\text{سماحية العازل}}{\text{سماحية الفراغ}}$$

اذا كانت ε_r تساوى خمسة مثلا ، فان سماحية المكثف المستعمل لعازل ما تبلغ خمسة اضعاف سماحية المكثف المكافىء الذى يستعمل الفراغ كعازل له . واذ تبلغ قيمة السماحية النسبية للهواء مقدار 1.005 ، فانه من الممكن ان تحتسب كواحد لكل الاغراض العملية . وتقع السماحية النسبية لمعظم العوازل الصلبة والزيوت العازلة فى المدى ما بين 8 – 2 ، وفيما يلى قائمة مختارة لبعض العوازل

المـــــادة	السماحية
الهـــــواء	1·0005
الورق [الجـاف]	2–2·5
شريط بوليسترين	2–3
مـــــيكا	3–7
ورق مشرب	4–6
خـــزف	6–100
خزف [ε كبيرة]	1500–3000

وتعطى القيمة المطلقة أو القيمة الفعلية للسماحية لاى مـــادة بالتعبير الاتى :

$$\varepsilon = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\, \varepsilon_r \quad \text{F/m}$$

٣ ـ ٤ ســعة المكثفــات متوازية الالــواح

تعطى سعة المكثف ذى اللوحين المتوازين الموضح فى شـــكل ٣ ـــ ١

السـعة $= C = \dfrac{\varepsilon a}{d}$ فاراد

$$= \frac{8{\cdot}85 \times 10^{-12}\, \varepsilon_r a}{d} \quad \text{F}$$

حيث

a = مساحة جانب واحد لكل لوح بالمتر المربع

d = سمك العـــازل بالمتر

ε_r = السماحية النسبية للعازل

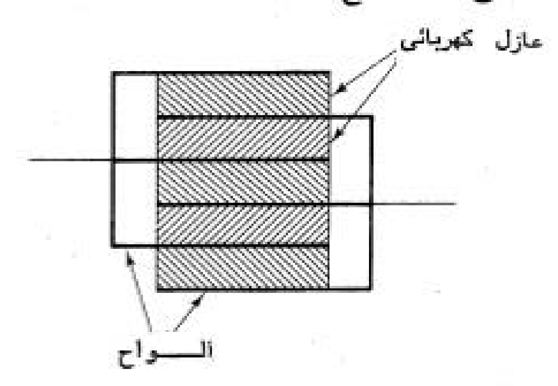
وهكذا ، اذا كانت $a = 0{\cdot}05\ \text{m}^2$ و $d = 0{\cdot}0005$ m ، $\varepsilon_r = 5$ ، اذن :

$$C = \frac{8{\cdot}85 \times 10^{-12} \times 5 \times 0{\cdot}05}{0{\cdot}0005} = 4{\cdot}425 \times 10^{-9}\ \text{F} = 4{\cdot}425\ \text{nF}$$

وتعتبر المعادلة السابقة هامة لانها توضح العلاقة بين الحجم الطبيعى للمكثف والسماحية النسبية والسعة . فهى توضح مثلا ان سعة المكثف تتضاعف بمضاعفة المساحة الفعلية للالواح . وعلاوة على ذلك تعتبر النسبة ε_r/d هامة ايضا حيث تزداد السعة بمضاعفة هذه النسبة . فمثلا ، بينما قيمة ε_r للميكا تكون مرتفعة نسبيا ، فانه يوجد حد ادنى للسمك الذى يمكن ان يفلق منها ، وعلى هذا تحدد القيمة القصوى للنسبة ε_r/d .

بالقيمة الحدية لادنى سمك من مادة العازل . ومن ناحية اخرى نجد أنه ، بينما تكون قيمة ε_r لشريط البوليسترين منخفضة ، فانه من الممكن تصنيعها على شكل اغشية رقيقة لتعطى قيمة مرتفعة للنسبة ε_r/d .

ويوضح شكل ٣ ــ ٢ تركيبة الالواح المتعددة وهى تركيبة شائعة وفى هذه الحالة ، يحتوى المكثف على ستة الواح وخمسة عوازل . وعلى هذا ، اذا احتوى المكثف على N لوح فهو يحتوى على (N — 1) عازل .



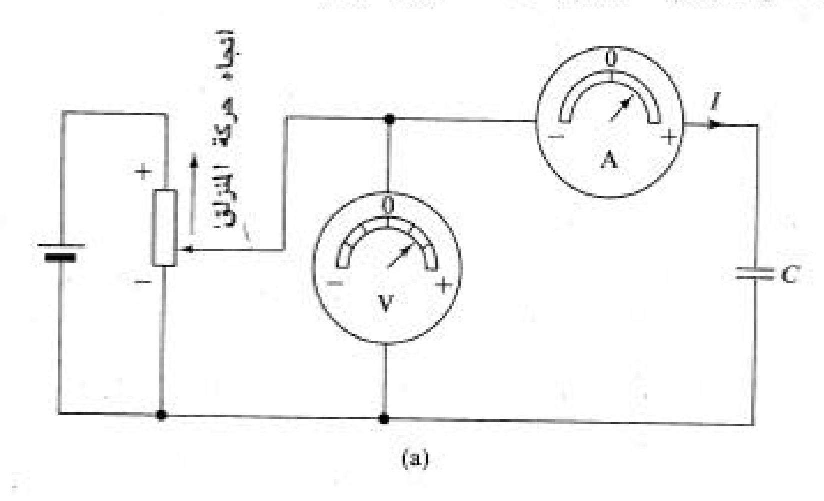
شكل ٣ ــ ٢ مكثف متكرر الالواح

وحيث ان الشحنة تختزن فى المادة العازلة ، فان سعة هذا المكثف المتكرر الالواح تبلغ خمسة اضعاف سعة المكثف المحتوى على لوحين فقط . وتعطى سعة هذا النوع من المكثفات بالمعادلة الاتية :

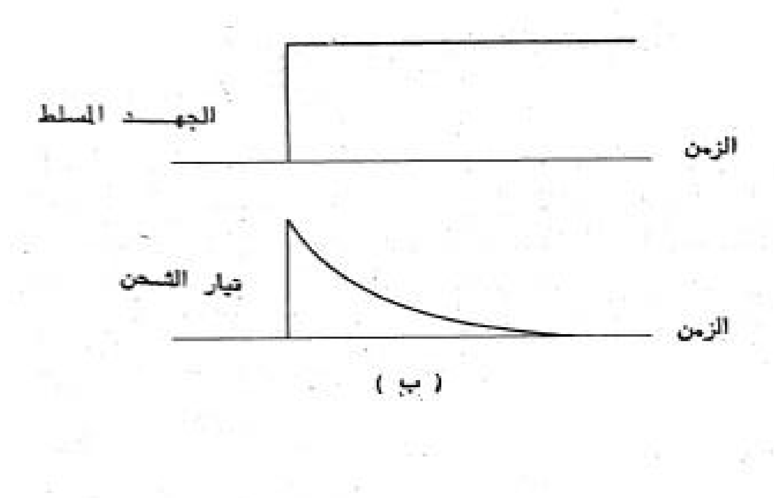
$$C = \frac{\varepsilon(N-1)a}{d} = \frac{8{\cdot}85 \times 10^{-12}\,\varepsilon_r(N-1)a}{d} \quad \text{F}$$

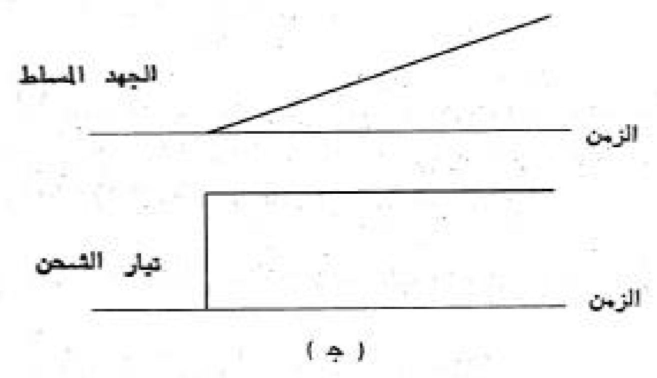
٣ ــ ٥ تيــار الشــحن والتفــريغ

لنفرض ان المكثف C الموضح فى شكل ٣ ــ ٣ [أ] كان مفرغا عند بدء التشغيل ، وان منزلق مقياس الجهد اتخذ الوضع الاسفل من مساره ، وبمعنى آخر لا يوجد اى جهد مسلط بين طرفيه .



(a)





شكل ٣ ــ ٣

[ا] التيار المناسب فى المكثف اثناء فترةالشحن . الاشـــكال المــــوجبة للتيـار فى [ب] كنتيجة لتغيير مفاجىء فى جهد الدائرةوفى [جـ] كنتيجة لمعدل تغير ثابت الجهدللدائرة

فاذا تحرك المنزلق اعلىمقياس الجهد اصبح هناك جهد موجبمسلط على اللوح العلوى للمكثف ، مما يؤدى الى تعديل مدارات الالكترونات فيجزيئات العازل لتصبح على شكل قطع ناقص بحيث تقترب مداراتها من اللوح العلوى [الموجب] للمكثف . وتؤدى حركة الالكترونات فى المادة العازلة لتنافر الالكترونات بعيداً عن اللوح العلوى ولكن خلال الدائرة الخارجية وتكون هذه الالكترونات فى الدائرة الخارجية سرياناً للتيار فى الدائرة وفترة الشحن للمكثف ما هى الا فترة الزمن التى تتبعج فيها مدارات الالكترونات ، وفى خلال هذه الفترة من الزمن ، يمكن ان يلاحظ تيار الشحن فى الدائرةالخارجية ويستطيع القارىء تذكر أن الاتجاه التقليدى لانسياب التيار هو عـــكس اتجاه سريان الالكترونات ، وبذلـكينسـاب التيار أثناء فترة الشحن فى اتجاه اللوح العلوى للمكثف .

اذا تغيرت قيمة الجهد المسلط من الصفر الى قيمة اكبر بطريقة مفاجئة كما فى شكل ٣ ــ ٣ [ب] تزداد قيمة تيار الشحن فجأة لقيمة لاتحدها الا مقاومة الدائرة فقط ، وبعدها تضمحل قيمته الى الصفر . بوصف الشكل

الموجى لتيار الشحن بالمنحنى الاسى ، وستذكر تفاصيل اخرى عن الشكل الموجى لتيار الشحن فى الجزء ٣ — ١٢ .

فاذا تزايد الجهد المسلط على المكثف بمعدل ثابت نتيجة أن المنزلق يتحرك على مقياس الجهد بمعدل ثابت، فان تيار الشحن يتخذ قيمة ثابتة ، كما هو موضح فى الشكل . وكلما تزايد الجهد المسلط بسرعة اكبر [بما يناظر اتخاذ الخط البيانى للجهد ميلا حادا] كلما ازدادت قيمة تيار الشحن ، وتصبح العلاقة بين قيمة تيار الشحن I فى حالة شكل ٣ — ٣ [جـ] ومعدل تغير الجهد المسلط بين طرفى المكثف كالاتى :

$$I = C \times \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

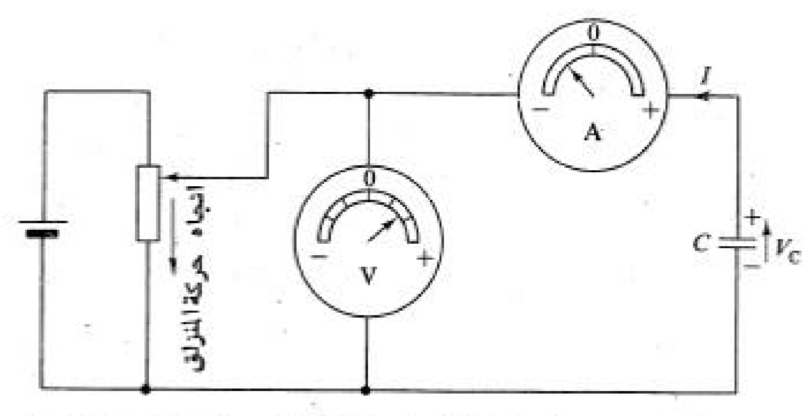
$$= C \frac{dV}{dt} \text{ A}$$

حيث **dV/dt** هى طريقة مختصرة للتعبير عن معدل تغير الجهد بالنسبة للزمن . فاذا زاد الجهد المسلط ، بين طرفى مكثف سعته بمعدل ثابت مقداره **1000 V/s** فان قيمة تيار الشحن تبلغ

$$I = 10^{-6} \times 1000 = 1000/1\,000\,000 = 1/1000 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

وقد يبدو من الوهلة الاولى ان معدل تغير الجهد المعطى فى المثال السابق ذا قيمة عالية ، وفى الحقيقة من الممكن أن نتعامل مع قيم اكبر بكثير من **100 V/s** فى عديد من الدوائر الالكترونية .

تفريغ المكثف يبين شكل ٣ — ٤ حالة تشغيل المكثف فى خلال الفترة الزمنية التى يتم خلالها تفريغه . ففى هذه الحالة تقل قيمة الجهد V ، المأخوذ بين منزلق المفرق والارض ، عن قيمة الجهد بين طرفى المكثف. وبالتالى فان تيار التفريغ ينساب خارجا من اللوح العلوى [الموجب] للمكثف عندما يتحرك المنزلق الى أسفل مقياس الجهد ويقوم المكثف بتفريغ طاقته فى الجزء السفلى من مقياس الجهد خلال هذه الفترة الزمنية .



شكل ٣ — ٤ انسياب التيار فى الدائرة السعوية خلال فترة التفريغ

وكما عرض سابقا ، فاذا تغير قيمة V بطريقة مفاجئة من قيمة الى اخرى [بالتنقيص فى هذه الحالة] يؤدى الى تيار تفريغ سنبلى من النوع الموضح فى شكل ٣ — ٣ [ب] . فاذا تم تحريك منزلق مقياس الجهد الى اسفل بمعدل ثابت ، فان تيار الشحن تكون ثابتة .

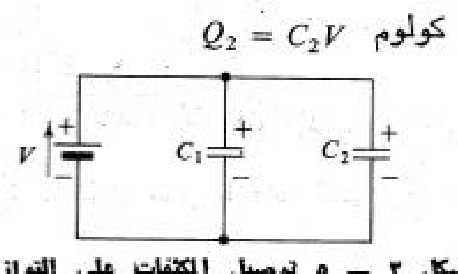
٣ — ٦ توصيل المكثفـــات على التـــوازى

عند توصيل مكثفين على التوازى مع مصدر مشترك للجهد V [انظر شكل ٣ — ٥] ، فانه نتيجة لما سبق عرضه فى الفصل ٣ — ٢ ، تكتسب الشحنة Q_1 المختزنة فى المكثف C_1 ما قيمته

$$Q_1 = C_1 V \quad \text{كولوم}$$

وتكتسب الشحنة Q_2 المختزنة فى المكثف C_2 ما قيمته

$$Q_2 = C_2 V \quad \text{كولوم}$$



شكل ٣ — ٥ توصيل المكثفات على التوازى

فاذا افترضنا انه من المطلوب احلال مكثف واحد سعته C بدلا من مكثفى مجموعة التوازى ، بحيث يختزن هذا المكثف نفس الشحنة الكلية $(= Q_1 + Q_2)$ عند توصيله بالمصدر V ، فان

$$Q = CV = Q_1 + Q_2 = C_1 V + C_2 V$$

او

$$CV = V(C_1 + C_2)$$

وهكذا

$$C = C_1 + C_2$$

اذن ، قيمة السعة المكافئة من توصيل عدة مكثفات على التوازى تساوى المجموع الكلى لسعات المكثفات المنفردة . ويؤدى توصيل عدة مكثفات على التوازى الى ان تزيد السعة المكافئة عن سعة اكبر مكثف منفرد فى الدائرة .

اذا وصل عدد n من المكثفات على التوازى ، فان المعـــادلة التى تعطى فيه الســـعة المكافئة C هى

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n$$

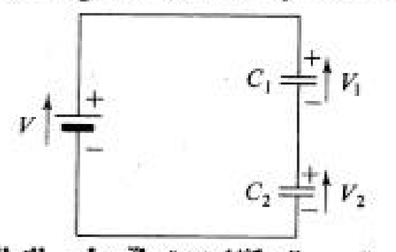
مثال ٣ — ١ . اذا وصلت المكثفات ذات السعات 1 pF، 1 nF، 1 μF على التوازى احسب السعة المكافئة لهذه المجموعة بالنانوفاراد .

الحـــل

$$1\ \mu F = 1000\ nF$$
$$1\ pF = 0{\cdot}001\ nF$$
$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1000 + 1 + 0{\cdot}001\ nF = 1001{\cdot}001\ nF$$

٣ ــ ٧ توصـــيل المكثفـــات على التـــوالى

يبين شكل ٣ — ٦ مكثفين متصلين على التوالى . وحيث أن نفس تيـــار الشحن ينساب خلال كل من المكثفين لنفس الفترة الزمنية



شكل ٣ — ٦ مكثفات متصلة على التوالى

فان كل مكثف منهما يقوم باختزان نفس الكمية الكهربية . فاذا كانت الكمية الكهربية هى **Q** فان

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2$$

وحيث أن C_1 و C_2 هما سعة هذين المـــكثفين بينما V_1 و V_2 هما فرق الجهد بين أطراف المكثفين على الترتيب . فباستخدام العلاقة السابقة نحصل على

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad و \quad V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

وحيث أن

$$V = V_1 + V_2$$

اذن

$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \qquad [\text{٣—١}]$$

فاذا ما رغبنا فى احلال مكثف واحد محل مجموعة المكثفات المتصلة على التوالى ، بحيث يختزن شحنة مقدارها كولوم لنفس فرق الجهد **V** فولت ، فان

$$Q = CV$$

او

$$V = \frac{Q}{C} \qquad [\text{٣—٢}]$$

وبمساواة المعادلات [٣ ــ ١] و [٣ ــ ٢] مع بعضهما البعض نحصل على

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$$

او

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وبمعنى آخر ، فى حالة التوصيل على التوالى لعدة مكثفات ، فان مقلوب السعة المكافئة الناتجة يساوى مجموع مقلوب كل من السعات المختلفة للمكثفات المنفردة . ويؤدى توصيل عدة مكثفات على التوالى الى أن تقل السعة المكافئة عن سعة اصغر مكثف منفرد فى الدائرة .

اذا وصل عدد n من المكثفات على التوالى ، فان مقلوب قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة التالية

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

مثال ٣ ــ ٢

وصل مكثفان سعتهما و على التوالى فى دائرة مكبر الكترونى . اوجد قيمة السعة المكافئة للمجموعة مقدرة بالنانوفاراد .

الحل :

$$0{\cdot}01\ \mu F = 10\ nF$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{1} = 1{\cdot}1 \quad \text{(1/nanofarads)}$$

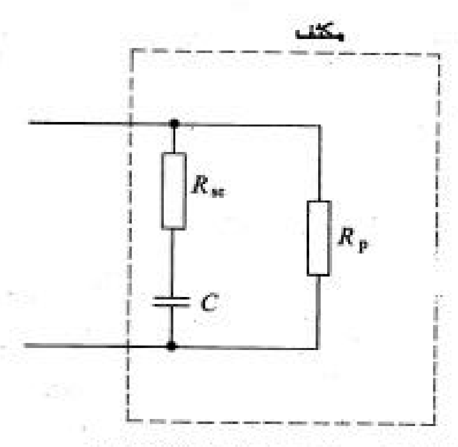
ومن ثم

$$C = 1/1{\cdot}1 = 0{\cdot}91\ nF$$

٣ ــ ٨ الدائــرة المكافئــة للمكثــف

المكثف هو عنصر دائرة مثالى ، ولا ينبغى أن يعبر عن اى خاصية من خواص المقاومة او الحث [انظر الفصل الرابع] ولا يتواجد فى الحيــاة العملية مثل هذا النوع من الاجهزة المثالية . ولكى نأخذ هذا العيب فى الاعتبار فان احدى الطرق المتبعة تعتبر المكثف كدائرة كهربائية مكافئة وليس كعنصر ســعوى مثالى .

ويوضح شكل ٣ ــ ٧ احدى الدوائر المكافئة للمكثف . وتحتوى الدائرة على مجموعة مكثف مثالى C متصل على التوالى مع مقاومة R_{se} ، بينما وصلت المقاومة R_p على التوازى مع هذه المجموعة . تمثل مقاومة التوالى R_{se} مقاومة اسلاك التوصيل والالواح ومقاومة التلامس بين اسلاك التوصيل والالواح . وتمثل مقاومة التوازى R_p المقاومة التسربية التى تعبر عن تسرب التيار خلال المـــادة العازلة وعلى ســـطح المكثف .



شكل ٣ ــ ٧ الدائرة المكافئة للمكثف

وتضع هذه المقاومات حدا للقيمة القصوى للتردد الممكن لتشغيل المكثف كما تضع خواص المادة العازلة حدودا لقيمة تردد التشغيل العلوى .

وبالاضافة الى ذلك ، فان تصنيع المكثف يؤدى لظهور محاثه صغيرة من الممكن ان تحدث مع المكثف دائرة رنين عند تردد مرتفع القيمة [انظر الفصل الســـــادس] .

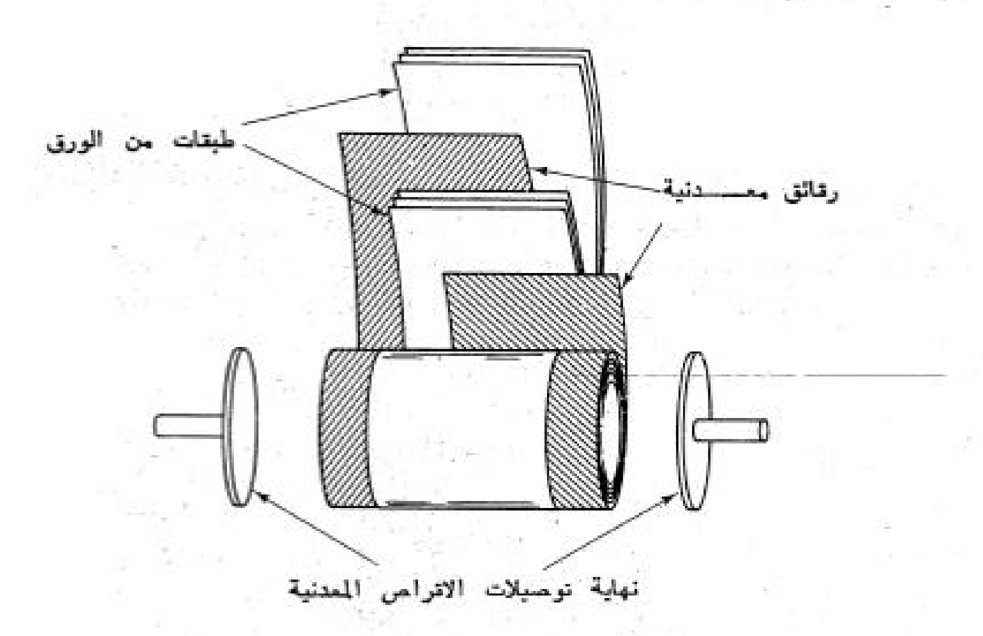
٣ ــ ٩ أنـــواع المكثفـــات

تصنف المكثفات على وجه العموم تبعا لنوع المادة العازلة التى تكون فى العادة من الورق البوليسترن ، الميكا ... الخ . واذ تتغير سعة جميع المكثفات مع القدم وتردد التشغيل والحرارة ، فان تحديد قيمتها المكتوبة يتم باعتبار التشغيل عند الترددات المنخفضة وفى درجة حرارة الحجرة فقط .

المكثفات ذات العازل الهوائى :

تستخدم المكثفات ذات العازل الهوائى اساسيا فى المعامل كسعات قياسية وتتكون المكثفات الهوائية متغيرة السعات من مجموعة الواح ثابتة ومجموعة من الالواح المتغيرة ، بحيث تتغير سعة المكثف كلما تغيرتمساحة الالواح المتداخلة .

المكثفات ذات العازل الورقى : يوضح شكل ٢ — ٨ واحدا من انواع المكثفات الورقية ، حيث تتكون الاقطاب من رقائق معدنية معزولة بطبقات من الورق المشبع بالزيت او الشمع او سمك مضاعف من البلاستيك . ويتم التوصيل بين الواح المكثف والدائرة الخارجية فى تركيبة الشكل المبين عن طريق التلامس بالضغط .



شكل ٢ — ٨ تركيبة واحد من انواع المكثف الورقى الانبوبى

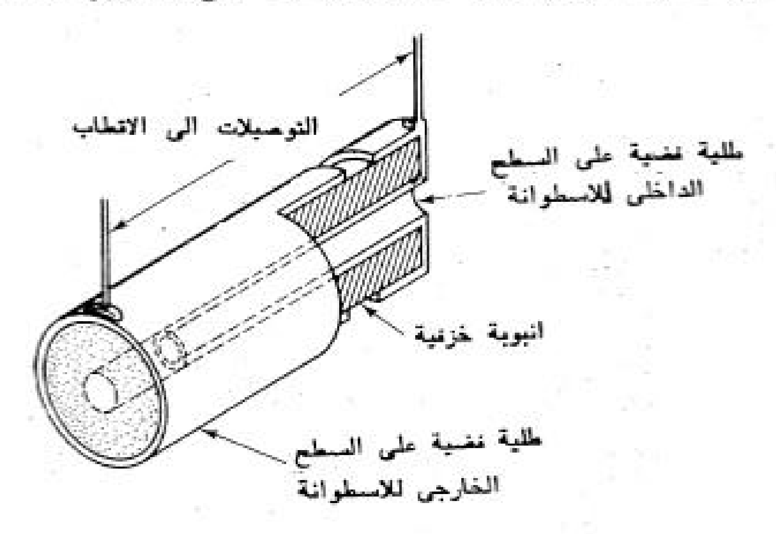
وفى المكثفات المعروفة بالمكثفات ذات الصحائف الورقية المعدنه بمعدن الورق حتى يتلاشى الفراغ الموجود بين الالواح والعـــازل . واذا قورنت الخواص الاساسية لهذا النوع بالنسبة للانواع الاخرى الورقية ، نجد أن هذا النوع يتميز بصغر الحجم ومقدرته على ان يبدأ ذاتيا ليصبح صالحا مرة اخرى بعد حدوث أى انهيار . ففى حالة حدوث ثقب بالورق اذا ما سلط جهد عابر مرتفع بين طرفى المكثف فسرعان ما يتبخر المعدن فى منطقة الثقب ليمنع وقوع أى قصر كهربائى فى الدائرة .

المكثفات ذات غشاء (film) البلاستيك العـــازل . وتستخـــدم هذه الانواع اغشية من مادة البلاستيك بدلا من صفائح الورق ولهذا النـــوع استعمالات كثيرة فى التطبيقات الالكترونية . ومن الممكن أن يعطى الاسلوب الفنى للانتاج مكثفات رخيصة الثمن ويمكن الاعتماد عليها لحد كبير ، وعلى وجه العموم ، فان تركيب هذا النوع يماثل المكثفات الورقية ، وبعض المواد العـــازلة الشـــائعة هى البـــوليسترين ، البوليستر ، البوليكربونات ، والبوليبروبلين .

المكثفات ذات العازل المختلط : وتسمح المكثفات التى تدمج المواد العازلة من اغشية البلاستيك مع الورق المشبع بتصنيع مكثفات صغيرة الحجم تعمل على جهود مرتفعة .

المكثفات ذات عازل الميكا : الميكا هى معدن يمكن ان ينشطر بيسر الى الواح رقيقة متجانسة ذات سمك يقع فى المدى من 0.025 mm (0.001 in) الى 0.075 mm (0.003 in) . فى التركيب المتراص الطبقات [انظر شكل ٣ — ٢] ، تتداخل الميكا والرقائق المعدنية على هيئة مكثف متعـــدد الالواح بحيث يتم ربطها كلها لتكون وحدة متماسكة . وكما اتبع مع المكثفات الورقية ، فمن الممكن تجنب الفراغات بين رقائق المعدن والعازل ، بمعدنة احد جوانب الميكا [مكثف الميكا المفضض] .

المكثفات ذات العازل الخزفى : تحتوى هذه المكثفات على طلية معـــدنية [عادة فضية] فوق الوجوه المتقابلة لاقراص واقداح وانابيب خزفية . ويبين شكل ٣ — ٩ تركيب احد انواع المكثفات الانبوبية الخزفية حيث يوضح منظر المقطع فى الطرف الايمن كيفية عمل التوصيلة الى الالكترود الداخلى .



شكل ٣ — ٩ مقطع لمكثف انبوبى خزفى

ومن الوجهة الاجمالية ، تنقسم انواع المكثفات الخزفية الى طائفتين هما المكثفات ذات السماحية النسبية المنخفضة القيمة والتى تقــع سماحيتها فى المدى من 6 الى 100 ، والنوع الثانى للمكثفات ذات السماحية المرتفعة حيث تقع سماحيتها فى المدى من 1500 الى 3000 .

وتتصف المكثفات ، التى تستخدم مواد عازلة « منخفضة السماحية » ، بسعات على درجة جيدة من الاستقرار وتستخدم فى دوائر الموالفة للمذبذبات الالكترونية حتى تستطيع الحفاظ على حصر تردد التذبذبات فى نطـــاق حدود ضيقة . اما بالنسبة للمكثفات التى تستخدم مواد عازلة « مرتفعة السماحية » ، فانها تعطى سعة اكبر لكل وحدة حجم عن نظيرتها التى تستخدم مواد عازلة منخفضة السماحية ، ولكنها تتعرض لتغير اكبر مدى فى السعة . ويستخدم هذا النوع فى مدى واسع من التطبيقات الالكترونية .

المكثفات الالكتروليتية : وتتكون العوازل فى مثل هذا النوع من المكثفات من غشاء اكسيدى رقيق ثم ترسيبه على واحد من لوحى المكثف او على كليهما ، بسمك للغشاء لا يتعدى جزءا من المليون من السنتيمتر . ونتيجة لذلك ، فان المكثفات الالكتروليتية ليست فقط ذات سعة اكبر لكل وحـــدة حجم بالمقارنة لجميع الانواع الاخرى للمكثفات ، انما هى ايضا ارخص أنواع المكثفات لكل قيمة وحدة سعوية . ويوازن كل هذه المميزات ، زيادة تيار التسرب فى المكثفات .

[خصوصا فى مكثفات الالومنيوم الالكتروليتية] ، بالاضافة الى التغير الكبير فى قيمة السعة [من % 20 الى %50 + وفى بعض الانواع الى %100 +] .

والغالبية العظمى من المكثفات الالكتروليتية ، هى مكثفات مستقطبة بمعنى أن فرق الجهد بين اطرافها لابد وان يكون صحيح القطبية . فاذا عكست قطبية النبيطة ، اختل عملها كمكثف ، وقد يمر خلالها تيار كبير ومن المحتمل ان يؤدى ضغط الغاز المتولد فى الداخل الى تصدع الوحدة [وبعنف شديد فى بعض الاحيان !] . ويبين شكل ٣ — ١٠ الاصطلاح المستخدم لدائرة المكثف الالكتروليتى . ويوضح الشكل مكثفا الكتروليتيا مستقطبا مع بيان القطبية الصحيحة عند تسليط فرق الجهد بين طرفيه .



شكل ٣ — ١٠ اصطلاح دائرة المكثف الالكتروليتى المستقطب

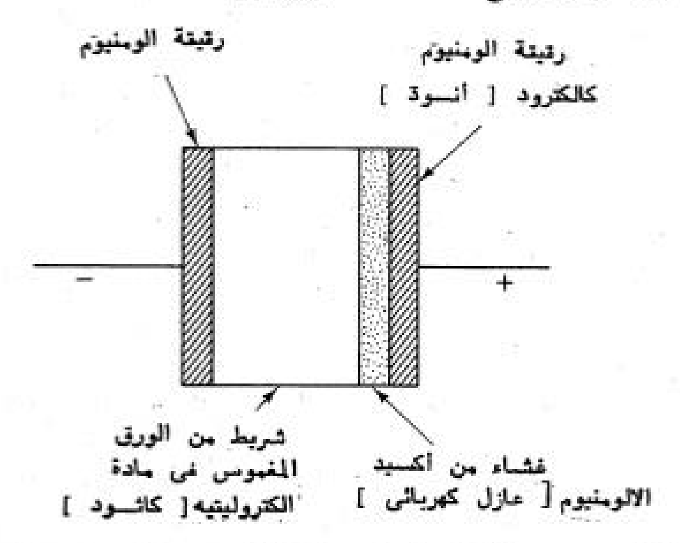
هذا وبالرغم من انه أمكن تغطية معادن كثيرة بغشاء اكسيدى الا انه وجد ان الالومنيوم والتنتاليوم يظهران احسن خواص لاستعمالات المـــكثف الالكتروليتى . وسنوضح فيما بعد فكرة عمل المكثفات التى تستعمل هاتين المــــادتين .

هذا وبعد فترات طويلة من الخمول ، أى اذا تم تخزين هذه المكثفـــات لعدة اشهر فان المادة الالكتروليتية تحتاج الى اعادة تشكيل [ونقصد بهذا مكثفات الالومنيوم الالكتروليتية على وجه الخصوص] . وتتم هذه العملية بتسليط الجهد المقنن تدريجيا خلال مقاومة قيمتها $10\,k\Omega$ حتى ينخفض تيار التسرب الى قيمته المقننة . فاذا لم تتم هذه العملية بهذه الكيفية ، وتم تسليط الجهد الكامل مرة واحدة ، فسوف تنجم مخاطرة احتمال زيادة تيار البدء التسربى ، لدرجة تكفى لتوليد ضغط مفرط للغاز داخل المكثف ، مـــع ما يتلو ذلك من خطورة حدوث انفجـــار .

مكثفات الالومنيوم الالكتروليتية : يوضح شكل [٢ — ١١] التركيب الاساسى لمكثفات الالومنيوم الالكتروليتية المستقطبة . يغطى سطح الانود [القطب الموجب] المكون من رقيقة معدنية بغشاء اكسيدى مكونا للعازل بسماحية نسبية تتراوح بين 10 — 7 . وتتلامس رقيقة الكاثود [القطب السالب] مع الكترود الكاثود الفعلي المكون من شريط من الورق المغموس فى مادة الكتروليتية مثل بورات الامونيوم . ويشابه التركيب المادى للمكثفات الانبوبية ، بصفة عامة ، ما هو موضح فى شكل [٢ — ٨] على ان يتم لف الورق المشبع مع رقائق الالومنيوم بشكل اسطوانى .

وتصنع المكثفات الالكتروليتية غير المستقطبة بترسيب طبقات الاكسيد فوق سطحى الرقيقتين [الانود والكاثود] للعمل مع مصادر الجهد المستمر او الجهد المتردد .

وهناك سمة للمكثفات الالكتروليتية ، عند الترددات العالية ، تؤدى لان تبدو وكأنها ملفات محاثة بالنسبة للدائرة الخارجية . ومن الممكن التغلب على هذه الظاهرة فى بعض الاحيان بتوصيل مكثف بوليكربونات صغيرة السعة ، مثلا ، على التوازى مع المكثف الالكتروليتى .



شكل ٢ — ١١ التركيب الاساسى لمكثف الالومنيوم الالكتروليتى المستقطب

مكثفات التانتالوم الالكترولينية : يتواجد نوعان من مكثف التنتالوم احدهما يستخدم الرقائق المعدنية كالكترود [أقطاب] ، والاخر يستخـدم قلب تنتالوم كأنود . ويشابه تركيبه مكثفات رقائق التانتالوم مثيلاتها من أنواع مكثفات رقائق الالومنيوم .

ومع أن مكثفات التانتالوم اكثر تكلفة لكل ميكروفراد من مكثفات الالومنيوم الالكتروليتيه ، الا انها اكثر مدعاة للاعتماد عليها بالاضافة الى أن حجمهـا المادى أصغر من نظيراتها من مكثفات الالومنيوم ، مما يؤدى الى قيمة اصغر لتيار التسرب ، وامكانية عدم التشغيل [بدون مشاكل] مــدة اطول ، بالاضافة الى قلة تغير الكثافة السعوية مع درجة الحرارة عن مكثفـات اكســيد الالومنيوم .

٣ ـ ١٠ الرموز الاصطلاحية للالوان والحروف للمكثف

تستخدم مجموعة من الرموز الاصطلاحية للمكثف ، تشتمل على نظام نطاق الالوان ونظام . بدون ـ نهاية ـ نقطة . وكما سبق بالنسبة للمقاومات فى الجزء ٢ ـ ٣ . وتعطى نطاقات او نقط اخرى ، بيانات اضافية عن الجهد المقنن وعن معامل المكثف الحرارى .

وتستخدم الرموز الاصطلاحية ، بصفة عامة ، للمكثفات كما وصفت بالنسبة للمقاومات فى الجزء ٢ ـ ٢ ، مع الاستثناءات التالية . اذ تحدد مواقع العلامات العشرية ، وقيمة المضاعف العشرى ، بالنسبة للمكثفات ، بالحروف الابجدية المميزة التالية .

الحرف	المضاعف
m	$10^{-3} = 1/1\,000$
μ or u	$10^{-6} = 1/1\,000\,000$
n	$10^{-9} = 1/1\,000\,000\,000$
p	$10^{-12} = 1/1\,000\,000\,000\,000$

وهكذا يكتب **1pF** على صورة **1 p0** ويكتب **10 nF** على صورة **10 n** ويوضح المثال الاتى ايضا استخدام رموز الحروف **B S 1852** الخاصة بالتفاوت المسموح به [انظر الجزء ٢ ـ ٢] .

$$2n2K = 2{\cdot}2\ nF \pm 10\%$$
$$47\mu N = 47\ \mu F \pm 30\%$$

٣ ـ ١١ الثابت الزمنى للدائرة السعوية

لقد نوقش باختصار فى الفصل ٣ ـ ٥ ، عملية شحن وتفريغ المكثف . وحيث أن المكثف والمقاومة يستخدمان بكثرة فى دوائر النبضات الالكترونية وفى دوائر التوقيت فالامر يتطلب التوضيح هنا بمزيد من التفصيل .

يتحدد التوقيت فى هذه الدوائر ، بالطريقة التى يتغير بها الجهد بين طرفى المكثف او بين طرفى المقاومة فى دائرة تشابه تلك الموضحة فى شكل ٣ ـ ١٢ [أ] . هذا ويوجد بارامیتر مفيد لمثل هذه الدوائر هو الثابت الزمنى ورمزه τ [وهو حرف يونانى ينطق تاو] حيث

ثابت الدائرة الزمنى = $\tau = RC$ ثانية

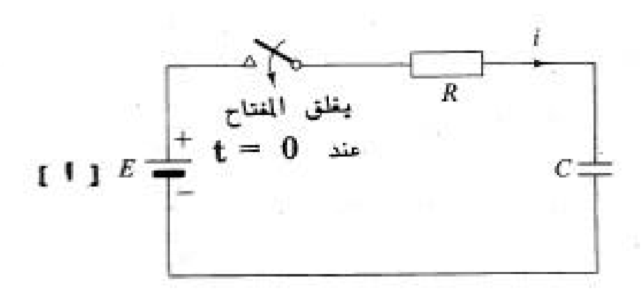
حيث **R** هى مقاومة الدائرة الموضحة فى شكل ٣ ـ ١٢ [أ] بالاوم و **C** هى سعة المكثف بالفاراد . وكطريقة بديلة نقد يكون من الانسب أن تحسب

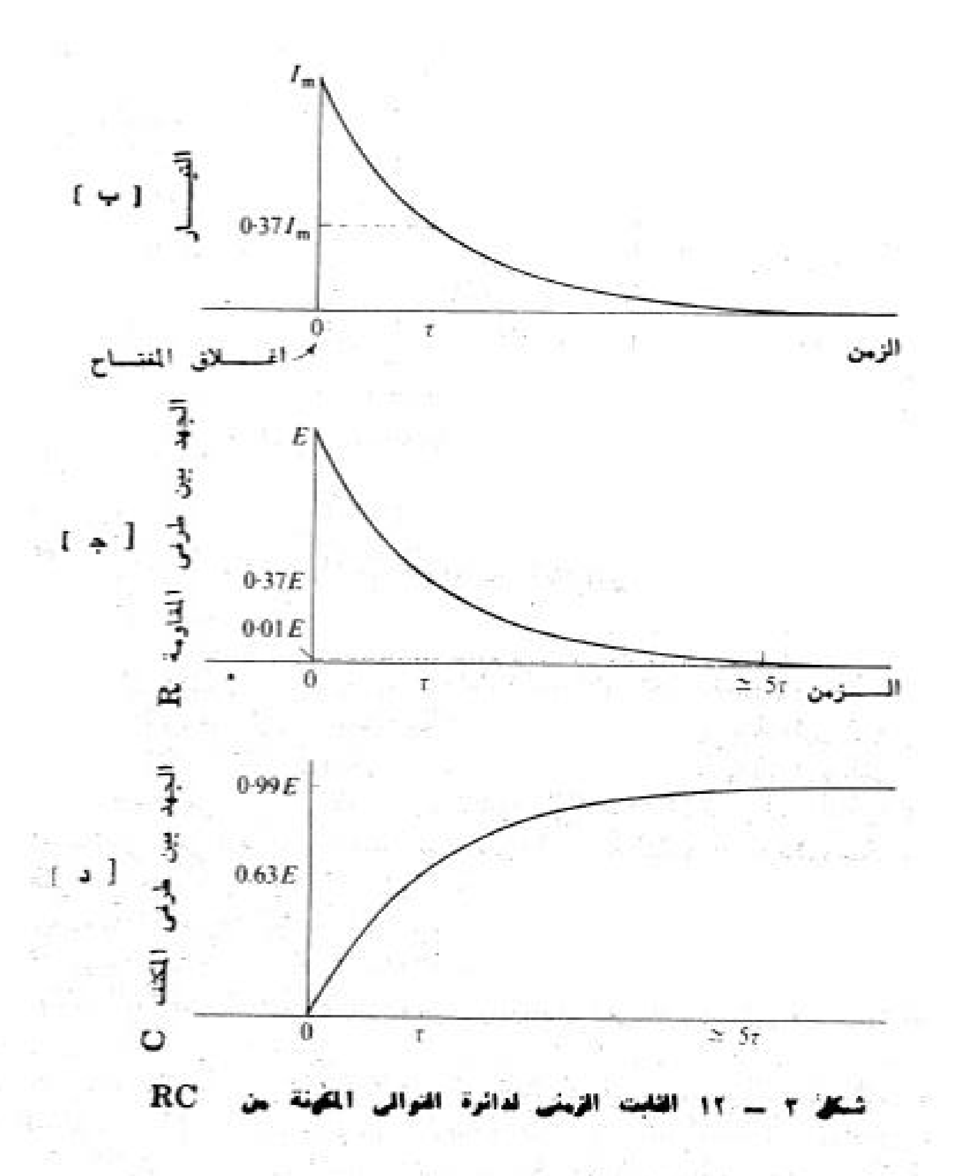
باستخدام قيمة R بالميجا أوم وقيمة C بالميكروفاراد . فاذا كانت $R = 470\ k\Omega$ فان [حيث $R = 0{\cdot}47\ M\Omega$]

$$\tau = RC = 0{\cdot}47 \times 1{\cdot}0 = 0{\cdot}47\ s$$

ومن الممكن اثبات ان الزمن الذى يستغرقه تيار الشحن للدائرة الموضحة فى شكل ٣ — ١٢ [أ] من اجل ان يضمحل الى ٣٧ فى المائة من قيمته الابتدائية يساوىقيمة τ [لمزيد من التفصيلات ، انظر الفصل الخـــامس من كتـــاب الالكترونيات المتقــدمة لمـؤلفه Noel M. Morris وناشره Mc Graw Hill] . ويستغرق اندفاع التيار الابتدائى زمنا قدره 0.47 ثانية ، فى الحالة السابق عرضها ، لكى يضمحل الى 37 فى المائة من قيمته الابتدائية . ويمكن توضيح الشكل الموجى لكل من الجهد والتيـــار فى الدائرة بالاشكال [ب] ، [ج] ، [د] من الرسم فبعد فترة زمنيةتعادل ثابت الدائرة الزمنى ، يتضح من هذه الاشكال أن قيمة جهد المقاومة قــد اضمحل من قيمة تساوى E الى قيمة تعـــادل 37 فى المائة من E وأن جهد المكثف قد تزايد من الصفر الى 63 فى المائة من E .

وتعرف الفترة الزمنية التى تتغير خلالها الجهود المبينة بالمنحنيات [أ] و [د] بالفترة العابرة لتشغيل الدائرة . ومن المفيد بالنسبة لكثير من الدوائر ان نستطيع تقدير الفترة الزمنية للمرحلة العابرة . يقال أن التغيرات العابرة قد انتهت فى الدائرة عندما يضمحل جهد المقاومة الى واحد فى المائة من قيمته الابتدائية وفى الوقت نفسه يصل جهد المكثف الى 99 فى المـــائة من قيمته النهائية . ومن الممكن اثبات [للتفاضل انظر المرجع الموضح عاليه] ان التغيرات العابرة تضمحل فى فترة زمنية تعادل خمسة اضعاف الثابت الزمنى ابتداء من لحظة قفل المفتاح . وباستخدام القيم المعطاة عاليه ، فان التغيرات العابرة تضمحل فى زمن قدره



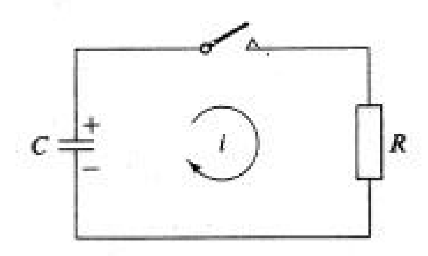


شكل ٣ ــ ١٢ الثابت الزمنى لدائرة التوالى المكونة من RC

وعلى نفس المنوال ، بالنسبة لحالة تفريغ المكثف ، حيث يوضح شكل ٣ ــ ١٣ الدائرة المستخدمة ، فانه لكى يضمحل جهد المكثف لواحد فى المائة من قيمته الابتدائية يستلزم الامر أن يكون

زمن التفريغ = 5 × الثابت الزمنى = $5\tau = 5RC$

ومن الممكن ان يعرف الثابت الزمنى ايضا بدلالة دائرة التفريغ المبينة فى شكل ٣ ــ ١٣ ، على أنه الزمن الذى يستغرقه جهد المكثف لكى يصل الى ٣٧ فى المائة من قيمته الابتدائية . اذا كان المكثف قد تم شحنه بجهد قدره 10V وكان الثابت الزمنى لدائرة التفريغ هو 5 ms فان جهد المكثف يضمحل الى $0.37 \times 10 = 3.7V$ فى زمن قدره 5ms ويضمحل جهد المكثف ابتداء من لحظة التفريغ الى واحد فى المائة من $10\ V = (0.1V)$ فى زمن قدره 5τ أو 25 ms .



شكل ٣ ـ ١٣ ثابت التفريغ الزمنى للمكثف

٣ ـ ١٢ الاسلوب الفنى للتشكيل الموجى ـ المفاضلات والمكاملات

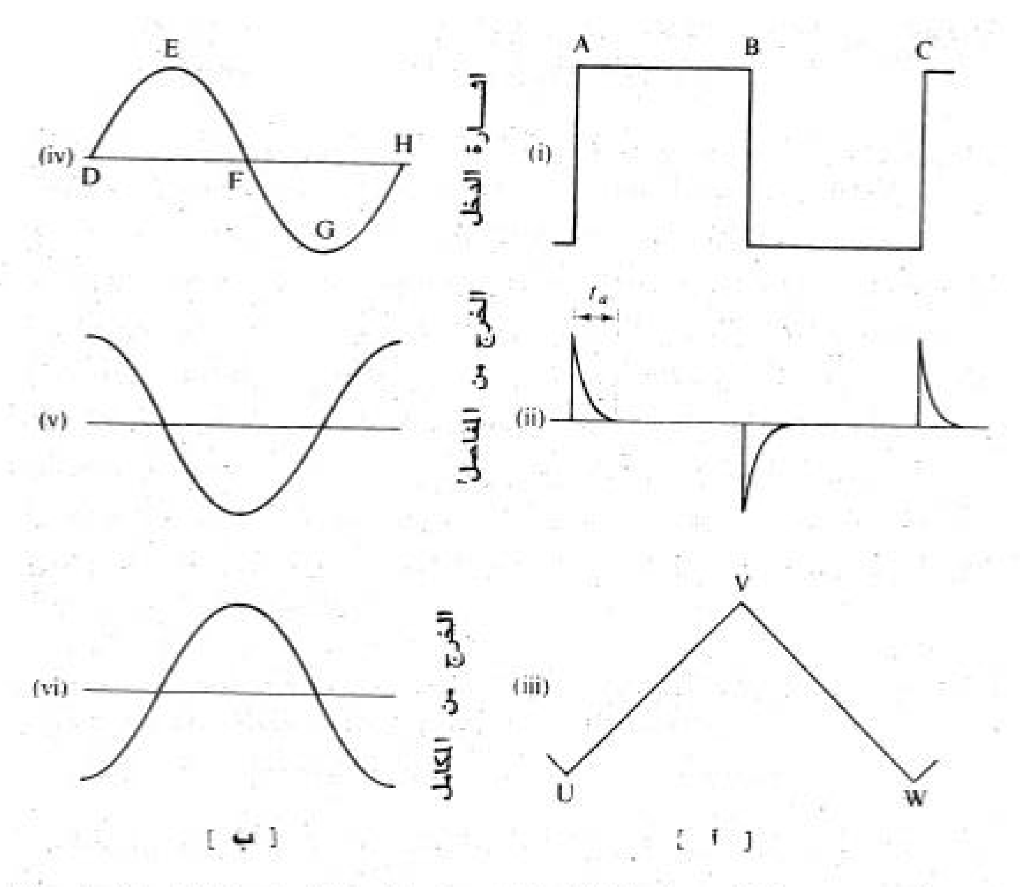
يستلزم الامر فى كثير من التطبيقات ان نقوم بتعديل هيئة الاشـــكال الموجية التى يتسنى استخدامها لاداء اغراض اخرى . لنعتبر ، على سبيل المثال ، الاشارات المولدة فى أجهزة استقبال التليفزيون ، والتى يضمحل عنها حزمة من الالكترونات فى انبوبة الاشعة الكاثودية [انظر الفصـــل السادس‌عشر ايضا]. لنرسم نموذجا فوق وجه الانبوبة. وحتى يمكن‌الحصول على نقطة تقارب صحيحة فوق وجه الانبوبة ، نجد انه اذ يلزم ان تكون ترددات الاشارة الموجودة ، فى الاحوال العادية ، مطابقة ، الا ان شكلها الموجى يجب ان لا يكون مطابقا لها . وفى مثل هذه التطبيقات ، تستخدم دوائر التشكيل الموجى فى التليفزيون الملون لكى تؤدى الى التقارب الصحيح

وتعرف‌الانواع الاساسية لدوائر التشكيل‌الموجى بدوائر التفاضل ودوائر التكامل ، وتظهر هذه الاسماء نتيجة للعمليات الرياضية من تفاضل وتكامل على الترتيب . وبصـــفة مؤقتة ، يمكن اعتبار هذه الدوائر كأنها داخل « صناديق سوداء » الكترونية ، ولها طرفا دخل وطرفا خرج . وتجرى هذه الصناديق [الدوائر] العمليات التالية :

[أ] **المفاضل** : تتناسب القيمة اللحظية لسعة خرج الموجة من المفاضل مع معدل تغير سعة موجة الدخل .

[ب] **المكامل** : تتناسب القيمة اللحظية لمعدل تغير ســـعة موجة الخـــرج للمكامل مع سعة موجة الدخل .

ويوضح شكل [٣ ـ ١٤] الكيفية التى تعدل بها هذه الدوائر من شكلين موجيين يتواجدان بكثرة فى مجال الالكترونيات . ويعرف الشكل المبين فى شكل ٣ ـ ١٤ [أ] ، بالموجة المربعة او المستطيلة نظرا لطبيعة شكلها ، وتتواجد على وجه العموم فى دوائر الفصل الالكترونية حيث تتغير قيمة اشارة الجهد بين مستويين بسرعة .



شكل ٣ — ١٤ شكل موجات الدخل والخرج من دوائر المفاضل والمكامل [أ] موجة دخل مربعة [ب] موجة دخل جيبية

لناخذ فى الاعتبار الشكل الموجى - للموجه (ii) والذى يظهر عند خرج المفاضل والذى سبق ادخال موجة مربعة بين طرفى دخله . فيلاحظ أن تغيرا مفاجئا يحدث للموجة المربعة فى الاتجاه الموجب عند اللحظة A ، وطبقا لمـا تؤديه دائرة المفاضل ، يتناسب خرج دائرته مع معدل تغير جهد الدخل . اى انه عند اللحظة A ، يتعاظم جهد الخرج ويكون موجبا فى الوقت نفسه . وحيث ان جهد الدخل يظل ثابتا بين النقطتين A ، B فان معدل تغيره يصبح منعدما ؛ وبالتالى فان قيمة خرج المفاضل والمنـاظر لتصبح ايضا صفرا [انظر شكل الموجة (ii)] . وبالنسبة للمفاضـلات المستخدمة عمليا ؛ يستغرق جهد الخرج فترة زمنية قدرها t_a لـكى تؤول قيمته الى الصفر ، علما بأن ثابت دائرة المفاضل الزمنى هو الذى يحدد هذه الفترة من الزمن التى من الممكن أن تتصاغر قيمتها الى بضـعة نانو من الثانية . وينخفض جهد الدخل ، عند النقطة B ؛ بسرعة مفاجئة لادنى مستوى له ؛ بحيث يتعاظم معدل تغير جهد الخرج ويكون سـالبا فى الوقتنفسه . وتصبح قيمة خرج الجهد بالتالى ؛ عند هـذه اللحظة متعاظمة وسالبة فى الوقت نفسه ؛ وكما سبق ، يصبح جهد الدخل ثابتا بين النقطتين C ، B [لانعدام معدل تغير الجهد] بحيث يتخـذ جهد الخرج للمفاضل قيمة الصفر مرة اخرى وذلك بعد انتهاء الفترة العابرة

بالنسبة للخرج وعند النقطة C يزداد جهد الدخل بسرعة فى الاتجـاه الموجب ـ ليعطى جهدا سنبليا موجبا عند الخرج .

والان دعنا نأخذ فى الاعتبار شكل موجة خرج من دائرة المكامل والذى سبق تسليط موجة مربعة بين طرفيه . ان جهد الدخل بين النقطتين A و B يظل ثابتا وموجبا ، وطبقا لما تؤديه دائرة المكامل ، يتخذ معـدل تغير جهد الخرج منها قيمة ثابتة وموجبة ، اى ان جهد الخرج يزداد وبانتظام مع الزمن ومن الممكن ايضاح ذلك من الشكل الموجى (iii) حيث يزداد جهد خرج المكامل ، بانتظام مع الزمن ، بين النقطتين U ، V .ويتخذ جهد الدخل قيمة ثابتة وسالبة فى الفترة الزمنية بين النقطتين B و C ، وبالتالى يتخذ معدل تغير جهد الخرج من المكامل قيمة ثابتة وسالبة ، اى ان جهد الخرج للمكامل يتناقص مع الزمن . مرة اخرى ، عند اللحظةC ، يصبح جهد الدخل موجبا ، عندما يبدأ جهد الخرج من المكامل فى الزيادة بانتظام فى الاتجاه الموجب .

يوضح الوصف السابق كيف ان الموجة المربعة الشكل ٣ ـ ١٤ [أ] ، شكلت بواسطة المفاضل لتعطى نبضات متوالية [الشكل الموجى ii] ، او موجة مثلثة [الشكل الموجى iii] ، بواسطة المكامل .

لنأخذ فى الاعتبار الان الطريقة التى تشكل بها الموجة الجيبية [الشـكل الموجى iv فى شكل ٣ ـ ١٤] [ب] بنوعى دائرتى التفاضل والتكامل .

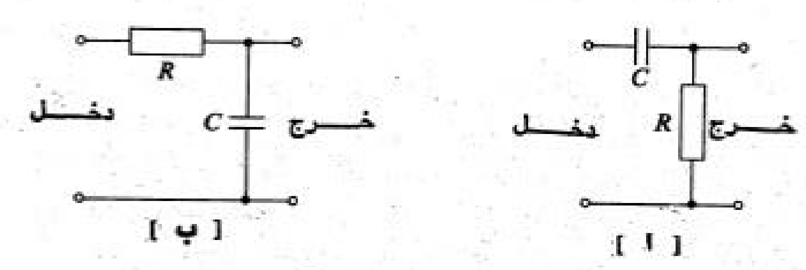
لنعتبر اولا الخرج [الشكل الموجى V] من دائرة المفاضل . فى اللحظة D ، يتخذ معدل تغير الشكل الموجى للدخل اكبر قيمة موجبة ، ويتناقص ميل موجة الدخل بين النقطتين D ، E حتى نصل الى النقطة التى يصبح الميل عندها صفرا . بالتالى تتلاشى قيمة جهد الخرج من المفاضل اثناء هذه الفترة وتتخذ قيمة الصفر عند E . ويصبح ميل موجة الدخل سالبا بين النقطتين E ، G ويقع اكبر معدل تغير عند F . ويتخذ جهد الخرج من المفاضل ، بالتالى قيمة سالبة بين النقطتين E و G وبأكبر قيمة له عند F .

أما اذا سلطت موجة جيبية بين طرفى دائرة تكامل فانه بالاستعانة بفكرة عمل دائرة المكامل السابقة تتخذ موجة الخرج شكل المنحنى (vi) فى شكل ٣ ـ ١٤ [ب] .

ويلاحظ ان دائرة المفاضل او المكامل لا تغير شكل الموجة الجيبية ولكن تغير موضعها بالنسبة للزمن ، اى ان ، شكل موجة الخرج قد تزحزح زمنيا . وتستخدم هذه الخاصية فى كثير من دوائر المذبذبات الالكترونية وكذا فى الدوائر الالكترونية المستخدمة فى التحـكم فى الثايرستور والتحـكم فى الاضاءة بالترياك وفى نظم التحكم فى المحركات .

٣ ــ ١٣ دوائر المفاضل والمكامل المكـــون من RC

يوضح شكل ٣ ــ ١٥ [أ] ، [ب] ، الدوائر المحتوية على مقاومات ومكثفات فقط والتى تحقق اغراض كل من المفاضل والمكامل على الترتيب . وكمتطلب هام بالنسبة لدائرة التفاضل ، لابد ان تكون قيمة الثابت الزمنى [حاصل ضرب RC] اقل بكثير من الزمن الدورى للموجة المراد تفاضلها . او بمعنى آخر ، لابد ان تكون قيمة الثابت الزمنى اقل بكثير من الفترة الزمنية المناظرة بين C, A فى الرسم (i) من شكل ٣ ــ ١٤ [أ] او اقل بكثير من الفترة الزمنية بين H و D فى الرسم (iv) من شكل ٣ ــ ١٤ [أ] وقد يكون عشر الزمن الدورى للموجة ثابتا زمنيا شائعا بالنسبة للمفاضل .



شكل ٣ ــ ١٥ [أ] دائرة مفاضل مكونة من RC [ب] دائرة مكامل مكونة من R C

ولابد ان يكون الثابت الزمنى ، فى حالة المفاضل ، اكبر بكثير من الزمن الدورى للموجة وينبغى ان تبلغ قيمة الثابت الزمنى الشائع لدائرة المكامل، حوالى عشر مرات الزمن الدورى للموجة المراد تكاملها .

اذا سلطت موجة زمنها الدورى 10 ms على كل من الدائرتين ، فانه

بالنسبة للمفاضل $RC = \frac{10 \text{ ms}}{10} = 1 \text{ ms}$

بالنسبة للمكامل $RC = 10 \times 10 \text{ ms} = 100 \text{ ms}$

٣ ــ ١٤ المكثفات فى دوائر التيار المتردد

لقد اقتصرت معالجتنا ، الى حد كبير ، فى هذا الفصل للمكثفات المرتبطة بدوائر التيار المستمر . وسوف يتضح فى الفصل السادس كيف تؤدى المكثفات وظائفها فى دوائر التيار المتردد .

الفصل الرابع

ملفات المحاثة

ملفات المحاثة او الملفات هى احدى عناصر الدوائر الالكترونية المستخدمة بكثرة دائما ما يساء استخدامها اما بحمل فوق الطاقة أو تسخين اكثر مما ينبغي بالاضافة الى انها توصل دائما فى الاماكن البعيدة المنال . وبالرغم من ذلك؛ فان هذه الملفات تعتبر ضمن اكثر العناصر التي يعتمد عليها فى الدوائر الالكترونية . ويقع الانهيار الكهربى لملفات المحاثة عادة نتيجة لانهيار بعض المكونات الاخرى التى تسبب حملا زائدا على الملف .

٤ ـ ١ التشغيل والتركيب

ملفات المحاثة هى ملفات سلكية ولها قلب هوائى أو قلب حديدى أو قلب فريت ferrite . ويتسبب عن مرور التيار الكهربائى فى الملف ، فيض مغناطيسى فى القلب ، وتعرف قابلية الملف لانتاج الفيض بالحث الذاتى أو ببساطة بالمحاثة ويرمز لها بالرمز L . وبالنسبة لقيمة معطاة للتيار ، يتزايد الفيض المغناطيسى الناتج مع ازدياد قيمة محاثة الملف . والهنرى هو وحدة المحاثة ويرمز له بالرمز H . ويعرف الحث الذاتى للملف بالمعادلة الاتية :

$$\text{المحاثة} = L = \frac{\text{عدد لفات الملف} \times \text{الفيض المغناطيسى الناتج}}{\text{التيار المار فى الملف}}$$

$$= \frac{N\Phi}{I} \text{ هنرى } (H)$$

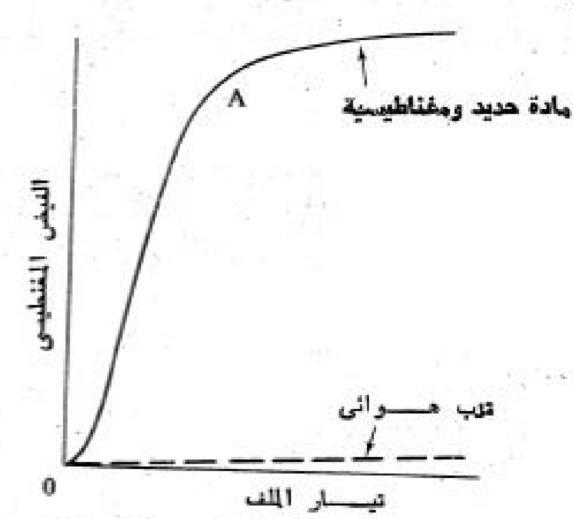
حيث Φ [رمز يونانى Phi] هو الفيض المغناطيسى الناتج من الملف بالويبر [رمزه Wb] . واجزاء الهنرى الشائعة هى الميلى هنرى (mH) والميكروهنرى (μH) والبيكوهنرى (pH) .

ويختلف المدى المستخدم لقيمة المحاثة فى الدوائر الالكترونية من ميكرو هنرى للملفات المستخدمة فى معدات اجهزة الاتصالات ذوات الترددات

العالية الى عدة مئات من وحدات الهنرى للملفات المستخدمة فى شبكات القوى . ويرتبط الرقم الصغير جدا والمشار اليه سابقا مع لفة واحدة من السلك مثلا حول قلب من الهواء . ويمكن الحصول على القيمة المرتفعة بعدة مئات أو الوف من اللفات السلكية الملفوفة على قلب حديدى .

٤ ــ ٢ المــواد المغناطيسـية

لزيادة محاثة الملف بدون زيادة عدد لفات السلك ، لابد من استخـدام قلب مصـنوع من مـادة حـديدومغناطيسية . المـواد الحديدومغناطيسية هى الحـديد او سبائك الحـديد المحتوى على النيكل او الكوبلت والتى لها منحنى علاقة الفيض المغناطيسى مع التيـار كما فى شـكل ٤ ــ ١ . ومن اجل المقارنة فقد اوضح بنفس الشكل العلاقة بين الفيض المغناطيسى والتيار عندما يكون القلب الملفوف عليه الملفات من الهـواء ، وسيلاحظ القارىء مدى الزيادة الجوهرية للفيض المغناطيسى الناتج نتيجة استعمال قلب مصنوع من مادة حديدومغناطيسية .



شكل ٤ ــ ١ العلاقة بين الفيض المغناطيسى والتيار للمواد الفيرومغناطيسية .

ويتزايد الفيض المغناطيسى فى القلب بسرعة بين النقطتين 0 و A ، وتعرف النقطة A على الرسم بمفصل أو كوع المنحنى . وابتداء من هـذه النقطة يتفلطح المنحنى وعندها يقال ان المـادة المغناطيسية قد تشبعت ، وبعد بداية التشبع ينتج زيادة طفيفة فى الفيض المغناطيسى مع اى زيادة كبيرة فى التيار .

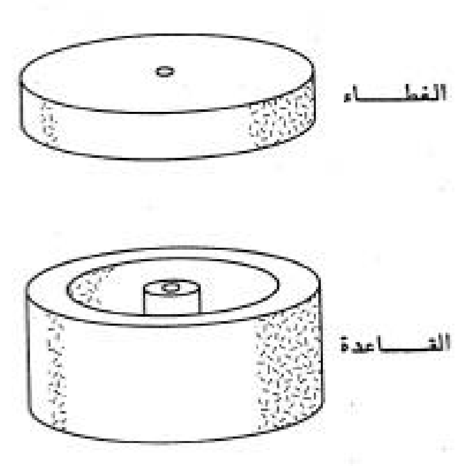
وتتميز المـواد الحـديد ومغنـاطيسية ، بالصـغر الملحـوظ لمقاومتها فاذا انتج بالحث او بالتأثير فى المادة ق.د.ك فانه ينتج عنهـا تيار موضعى [يعرف بالتيار الدوامى] يتخذ مسارا دائريا بها . ويزيد هذا التيار من القدرة الكهربائية المفقودة فى المادة مع اجهزة التردد العالى مما يؤدى الى حرج نظرا لعدم امكانية استيعاب هذه القدرة المفقودة . وتشمل

الطرق المستخدمة للتقليل من هذه القدرة المفقودة ، استعمال قلب من رقائق الحديد يتكون من رقائق رفيعة تستخدم بطريقة تؤدى الى زيادة مقاومة دائرة الحديد لسريان التيار الدوامى . وهناك طريقة بديلة اخرى تستخدم قلبا من مسحوق الحديد او قلبا من البرادة المصنوع من مسحوق الحديد الناعم الذى يلصق على الشكل المطلوب . هذا وتصبح مقاومة المادة مرتفعة جدا نتيجة لمثل هذا التركيب .

وتستخدم أيضا مواد تعرف بالفيريتات ferrites كقلوب مغناطيسية فى كثير من ملفات المحاثة بالنسبة لاستخدامات الترددات العالية . والفيريتات هى مواد خزفية لها خواص مغناطيسية مشابهة للحديد ، ولكنها تعتبر عوازل من الوجهة الافتراضية .

وبالتالى تصبح القدرة المفقودة فى القلب المصنوع من الفريت صغيرة حيث أن قيمة التيار الدوامى منخفضة وهذا النوع من المادة قابل للتقصف ويمكن بسهولة ان يتحطم بالاستعمال غير الواعى ، وتستعمل قلوب الفريت بكثرة فى تركيب ملفات مستقبل الراديو المتنقل وفى استخدامات الاتصالات الكهربائية .

وتستخدم فى كثير من الملفات قلوب من الفريت على شكل وعاء pot كما هو موضح بالشكل [٤ ــ ٢] وتسمى القلب الوعائى بسبب شكلها . ويركب دليل تشكيل الملف حول القلب الاسطوانى المركزى من الجزء



شكل ٤ ــ ٢ قلب وعائى من الفريت

الاسفل . هــذا ويتم توصيل القـــاعدة مع الغطـــاء ليكونا مســـــارا مغناطيسيا متصلا . ومن الممكن ضبط محاثة الملف لحد ما أما بتغير الفجوة الهوائية بين الغطاء والقاعدة او بالتحكم فى مسار ملولب يمكن ان يتحرك لداخل او خارج مركز قلب الوعاء .

٤ ـ ٣ مواد الحجب المغناطيسى

تنتج المجالات المغناطيسية فى عديد من المعدات الصناعية مثل المحولات والمغناطيسيات الكهربائيـــة ... الخ . ويتسبب عنهـــا ظهور ق.د.ك مستحثة بالاجهزه الالكترونية عند تعرضها لهذه المجالات . ويؤدى هـــذا الى حدوث تدآخل كهربائى يعرف باسم الضوضاء الكهربائية وقـــد يتسبب عن ذلك اختلال أداء بعض الدوائر . وللتقليل من التداخل نتيجة لهذا السبب تحجب الاجهزة الحساسة بوضعها فى وعاء مصنوع من احدى ســـبائك الحديد والنيكل مثل « الميوميتال » وهى سبيكة شديدة التأثر بالمغناطيسية ويؤدى هذا الساتر لحدوث قصر مغناطيسى حول الاجهزة فيما يختص بالمجال المغناطيسى الخارجى . ويعتبر اللوح المعدنى ، الذى يغلف معظم المعدات الصناعية ، ساترا مغناطيسيا ضعيفا للتجمع الرئيسى لهذه المعدات .

٤ ـ ٤ القوة الدافعة الكهربائية المستحثه ذاتيا (ق • د • ك المعارضـــة) فى الملـــف

تســبب خاصـــية المحاثة الـــذاتية للملف ظهور الـــ ق.د.ك مستحثـــة كلمــــا تغيـــرت قيمــــة التيــــار المـــار فى الملف . وتعرف هـذه الـــ .ق.د.ك بالـــ ق.د.ك المعارضة أو ، الـــ . ق.د.ك المستحثة ذاتيا . ويتحدد على الدوام اتجاه او قطبية هذه الـــ .ق.د.ك الذاتية بحيث تعاكس التغير فى التيار الذى يسبب هذه الـــ .ق.د.ك [وهذا القول يعتبر قانونا أساسيا فى الكهرومغناطيسية كما عبر عنــه لاول مرة الفيزيائى Heinrish Lenz ويعرف بقـــانون Lenz] أو بمعنى آخر ، اذا اتجهت قيمة التيار فى الملف للزيادة فان الـــ . ق.د.ك المستحثة تعـــاكس هذه الزيادة ، واذا اتجهت قيمة التيـــــار فى الملف الى التناقص فان الـــ . ق.د.ك المستحثة الذاتية تعاكس ايضا هـــذا التناقص فى التيار .

ولعل هذه الظاهرة الموضحـــة عاليه ، بالـــذات ، هى التى جعلت من المحاثة اداة مفيدة فى دوائر التيار المتردد (a.c) . فالـــ .ق.د.ك المعارضة والمستحثة نتيجة تغير التيار يمكن أن تستخدم للحـــد من قيمة التيار نفسه . وستوضح هذه الخاصية اكثر من ذلك فى باب دوائر التيار المتردد [الفصل السادس] . وبالتالى فتبعا لما ذكر سابقا فان بعض أنواع الملفات المستخدمة فى دائرة التيار المتردد توصف **كملفات خانقة** ، او ببساطة **كخوانق** .

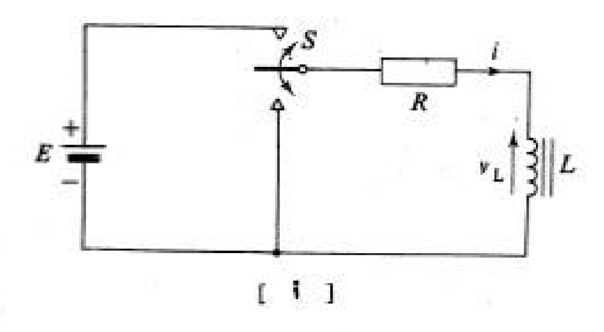
٤ ــ ٥ ازدياد واضمحلال التيــار فى دائــرة محــاثة

توجه عناية فى علم الالكترونيات الى سرعة قفل او فصل الدائرة الكهربائية التى تتضمن ملفا . فمثلا ، بالنسبة لبعض الانواع من الدوائر المنطقية الالكترونية ، قد تضطر نبيطة الخرج [دائما ترانزستور] لايصال التيار فى دائرة المرحل (relay) من قيمة الى اخرى فى زمن قليل جدا وفى دوائر الكترونيات القوى الكهربائية قد يصبح من المحتم أن يتغير التيــار المــار خلال ملفات المجال أو خلال عضو الانتاج الكهربائى لالات التيار المستمر بسرعة . لذلك يصبح أمرا فى غاية الحيوية ان نتفهم كيفية تزايد واضمحلال التيار فى دوائر المحاثة .

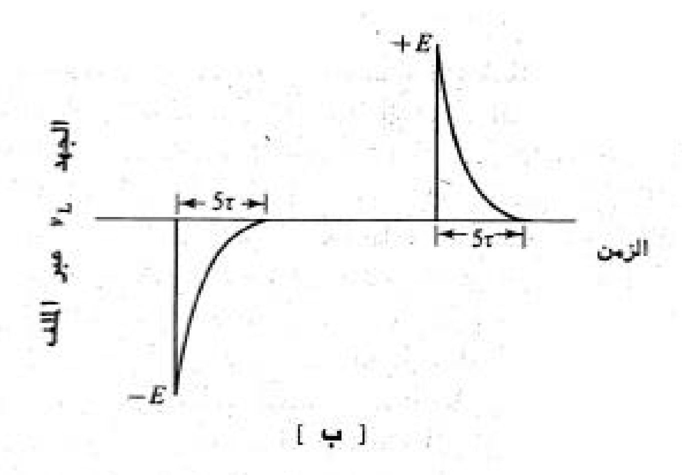
وقد تمكننا الدائرة الموضحة فى شكل ٤ ــ ٣ [أ] من دراسة عمــل دوائر المحاثة فى أحوال التوصيل او القطع . ففى البداية ، يوضع المفتاح الكهربائى S فى الوضع المتوسط وتكون قيمة التيار المــار فى الدائرة مساوية للصفر . فعند تحرك نصل المفتاح الكهربائى الى الوضع العلوى، يتصل الملف بالمنبع ، ويميل التيار المار بالملف الى الزيادة . وكما وضح فى الجزء ٤ ــ ٤ ، ينتج أن الــ .ق.د.ك المستحثة ذاتيا تعاكس جهــد البطارية . وكما هو موضح فى الشكل ٤ ــ ٣ [ب] تكون القيمة المبدئية للــ .ق.د.ك المعارضة مساوية لقيمة جهد المنبع E بحيث ان مجمــوع الــ .ق.د.ك فى الدائرة يساوى صفرا [مثل ما تساويه قيمة التيار] وتضمحل الــ .ق.د.ك المعارضة ببطء وتتزايد قيمة التيار ، فى نفس الوقت ، تدريجيا حتى تصبح قيمة الــ .ق.د.ك المعارضة صفرا ، ويكون التيار قد وصل الى قيمته العظمى [انظر شكل ٤ ــ ٣ ج] . هذا ويرتبط الزمن الذى استغرقه التيار ليصل الى قيمته العظمى مع الثابت الزمنى τ لدائرة المقاومة والملف (RL) ، ويعطى بالمعادلة .

$$\text{الثابت الزمنى} = \tau = \frac{L}{R} \ \text{ثانية}$$

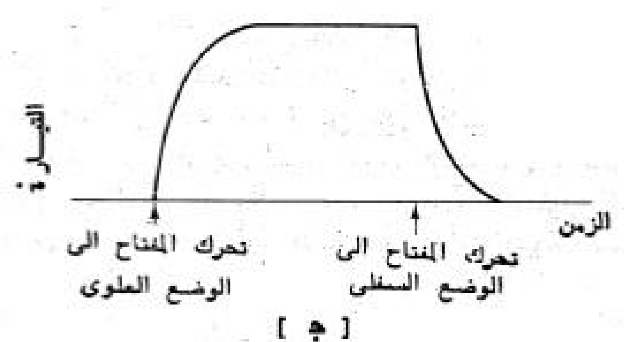
حيث L هى المحاثة الذاتية للدائرة بالهنرى و R مقاومة الدائرة بالاوم



[أ]



[ب]



[جـ]

شكل ٤ ــ ٣ تزايد واضمحلال التيار فى دائرة المحـــاثة .

فاذا ما احتوت دائرة على محاثة ذاتية قيمتها 120 mH ومقاومة مقدارها فان ثابتها الزمنى هو

$$\tau = \frac{120\ \text{mH}}{10\,\Omega} = \frac{120 \times 10^{-3}\ \text{H}}{10\,\Omega} = 12 \times 10^{-3}\ \text{s} = 12\ \text{ms}$$

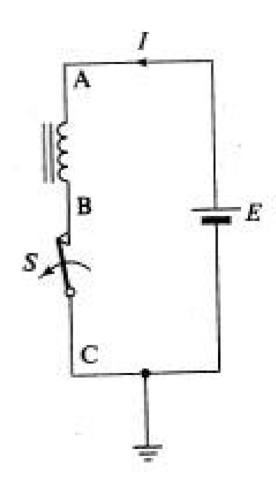
وبمثل هذه القيمة من الثابت الزمنى ، يستغرق التيــار زمنا قـــدره

$$5\tau = 5 \times 12 = 60\ \text{ms}$$

لـكى يصـــل الى قيمته النهائية بعـــد ايصال المصـــــدر للدائرة [تحليل هـــــذه الدائرة معطى فى الفصـــل الخـــامس من كتـــاب الالكترونيات المتقدمة لمؤلفه Noel. M. Morris ، وناشره (Mc. Graw — Hill) وبعد مرور الفترة العابرة يظل التيار المـــار فى الـــدائرة ثابتا وتصبح الـــ . ق.د.ك المعارضة مساوية للصفر . وفى خلال هذه الفترة من التشغيل ، يتساوى فرق الجهد على طرفى الملف مع هبوط الجهد عبر المقاومة الداخلية للملف . وفى العادة ، تكون قيمة فرق الجهد الثـــابت صغيرة . فمثلا بالنسبة لملف ذى محـــاثة 150 mH وتياره المقنن 0.9 A تكون قيمة مقاومة الملف حوالى 2.5 Ω ، فعندما يمر اقصى تيار ، يصل فرق الجهد بين طرفى الملف الى ما يقارب 2.25V فقط .

وفيما يلى سنفترض ان المفتاح S الموضح فى شكل ٤ ــ ٣ [أ] مثاليا وأن نصله يمكن أن يتحرك من الموضع العلوى الى الوضع السفلى فى زمن قدره صفرا . فعندما يحدث هذا التحرك فان دائرة الــ RL تصبح فى حالة قصر ، ويبدأ التيار المــار خلال الملف لحظيا فى الاضمحلال . ومرة اخرى ، تلعب قوانين الطبيعة دورها ، اذ تستحث فى الملف ق.د.ك معارضة وفى اتجاه يعاكس التغير فى التيار ، اى ان اتجاه الــ .ق.د.ك المستحثة ذاتيا يتحدد بحيث تحاول الابقــاء على قيمة التيار الاصلية فى الدائرة . وتضمحل قيمة ق.د.ك المستحثة ببطء ومعها فى نفس الوقت يضمحل التيار المــار فى الملف ايضا . مرة اخرى ، يستغرق التيــار فترة زمنية تعادل حوالى خمس مرات الثابت الزمنى لكى يضمحل الى قيمة فى غاية الصغر [أنظر شكل ٤ ــ ٣ [جـ]] .

ويوضح شكل [٤ ــ ٤] أساس عمل كثير من الــدوائر الالكترونية المستخدمة لايصال او قطع التيار فى دائرة مرحل . فالمفتاح S [المبين فى الوضع الموصل] يستعاض به ، من اجل التبسيط ، عن المفتــاح الالكترونى الذى يمكن ان يكون واحــدا من عديد من النبط التى تشمل الترانزستور والثايرستور والترياك. فعند فتح S ، تحاول الــ .ق.د.ك المعارضةوالتى تستحث فى الملف، ان تحافظ على دوام انسياب التيار فى الدائرة



شكل ٤ ــ ٤ الوضع القائم فى معظم الدوائر الالكترونية .

ويتضح من المناقشة السابقة أن قطبية الــ . ق.د.ك . المستحثة ذاتيا فى الملف تتحدد تحت هذه الظروف بحيث تساعد الــ .ق.د.ك حتى تحافظ على دوام انسياب التيار . وكلما زادت سرعة فتح المفتاح S ، كلما ازدادت قيمة الــ .ق.د.ك المستحثة ذاتيا فى الملف ، حتى يتسنى لها المحافظة على دوام انسياب التيــار . وحيث أن الــ . ق.د.ك المستحثة ذاتيا فى الملف تضاف الى جهد المصدر فان جهد النقطة B بالنسبة الى النقطة C يكون اعلى من قيمة جهد المصــدر .

ومن الممكن فى بعض الدوائر بالتطبيقات العملية ، أن يصل جهد النقطة B ، لحظيا لقيمة تتعدى مائة ضعف جهد المصدر .

وكنتيجة لما سبق . تتولد « شرارة سنبلية » من جهد عابر عبر المفتاح S عند لحظة فتحه . ولقد اصبح شائعا الان ، أن نبط اشباه الموصلات معرضه للتلف نتيجة الجهد الزائد. ومن المحتم أن تعدل الدائرة بطريقة ما، فى مثل هذا النوع من التطبيقات ، حتى يتسنى أما وقاية المفتاح الالكترونى من اسوأ احتمالات لتأثير زيادة الجهد ، او لمنع ظهور شرارة الجهد السنبلية تماما [انظر الفصل الثامن والفصل الخامس عشر] .

ويمكن حساب قيمة الـ . ق.د.ك المستحثة ذاتيا e من المعادلة الاتيـــة :

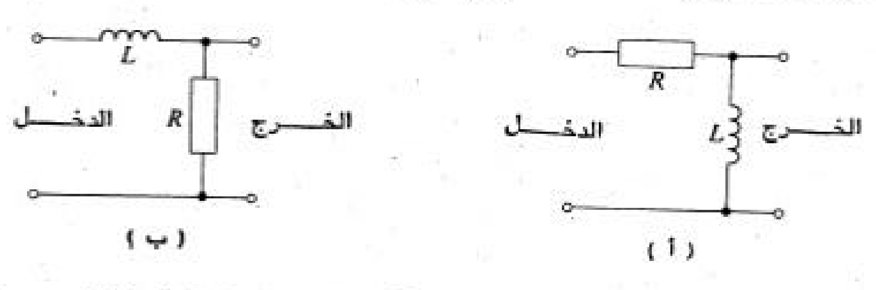
$$e = L \times \text{معدل تغير التيـــار بالنسبة للزمن}$$
$$= L\frac{di}{dt}$$

حيث di/dt هي طريقة مختصرة لقول « معدل تغير التيار بالنسبة للزمن » و L هى محاثة الملف بالهنرى .

فاذا كان المفتاح الموضح فى شكل ٤ ــ ٤ « مثاليا » فانه يصبح قادرا من الوجهة النظرية على قطع تيار الدائرة فى زمن قدره صفرا ، اى أن معدل هبوط التيار يصبح لانهائيا فاذا ما طبقت هذه القيمة فى المعادلة فاننا نرى أن قيمة الـ .ق.د.ك المعارضة بالملف ، فى مثل هذه الدوائر ، تبلغ قيمة لا نهائية . ويؤدى هذا الى تلف نبيطة شبه موصل مستعملة كمفتاح الكترونى . وبالتالى يصبح أمرا حيويا للغاية ، حماية أشباه الموصلات المستخدمة فى مثل هذه الدوائر الفاصلة من هذه العواقب .

٤ ــ ٦ دوائر *RL* التفاضـلية والتكامليـة

يمكن استخدام دوائر الـ RL كمفاضل ومكامل للاشارات الكهربائية كما فى حالة دوائر الـ RC .ويبين الشكل ٤ ــ ٥ الاشكال الاساسية لدوائر الـ RL . ويقل استخدام دوائر الـ RL كثيرا فى عمليات التفاضل والتكامل عن دوائر الـ RC لدواع كثيرة لعل أهمها غلو وكبر حجم ملفات



شكل ٤ ــ ٥ (أ) دائرة تفاضل مكونة من RL (ب) دائرة تكامل مكونة من RL

المحاثة ويتحتم أن تكون قيمة الثابت الزمنى (L/R) ، لدائرة التفــاضل المبينة فى شكل [٤ ــ ٥] ، أقل بكثير جدا من الزمن الدورى لاشارة الدخل ومن اللازم ايضا ان تكون قيمة الثابت الزمنى ، لدائرة التكامل المبينة فى شكل [٤ ــ ٥]ــ اكبر بكثير جدا من الزمن الدورى لاشارة الدخل .

٤ ــ ٧ ملفــات المحــاثة فى دوائر التيــار المتردد

اقتصر فى هذا الفصل على توضيح عمل المحاثة فى دوائر التيار المستمر وسيوضح عملها فى دوائر التيار المتردد فى الفصل السادس .

الفصل الخامس

الجهد المتردد والتيار المتردد

الجهد المتردد هو الجهد الذى تنعكس فيه قطبية طرفى المصدر بطريقة مستمرة بين الموجب والسالب . والشكل الموجى الجيبى او المتردد هو ما نصادفه غالبا فى مجال الهندسة الكهربائية . ويسمى كذلك لانه تتبع منحنى الجيب الرياضى عند رسم شكل موجة الجهد بالنسبة للزمن . وستكون الموجات الجيبية اساسا لمعظم المناقشة فى هذا الفصل والفصل الذى يليه .

ومن الجدير بالذكر ان كثيرا من الاشكال الموجية فى الدوائر الالكترونية لا تتخذ الشكل الجيبى . ومع ذلك فلاتزال معلوماتنا عن الموجات الجيبية ذات أهمية حيوية فى هذه الحالة لانه يمكن اعتبار الموجات غير الجيبية ، كما سنرى فيما بعد ، مركبة من عدد كبير من الموجات الجيبية [هذه الطريقة تسمى تركيب الشكل الموجى] .

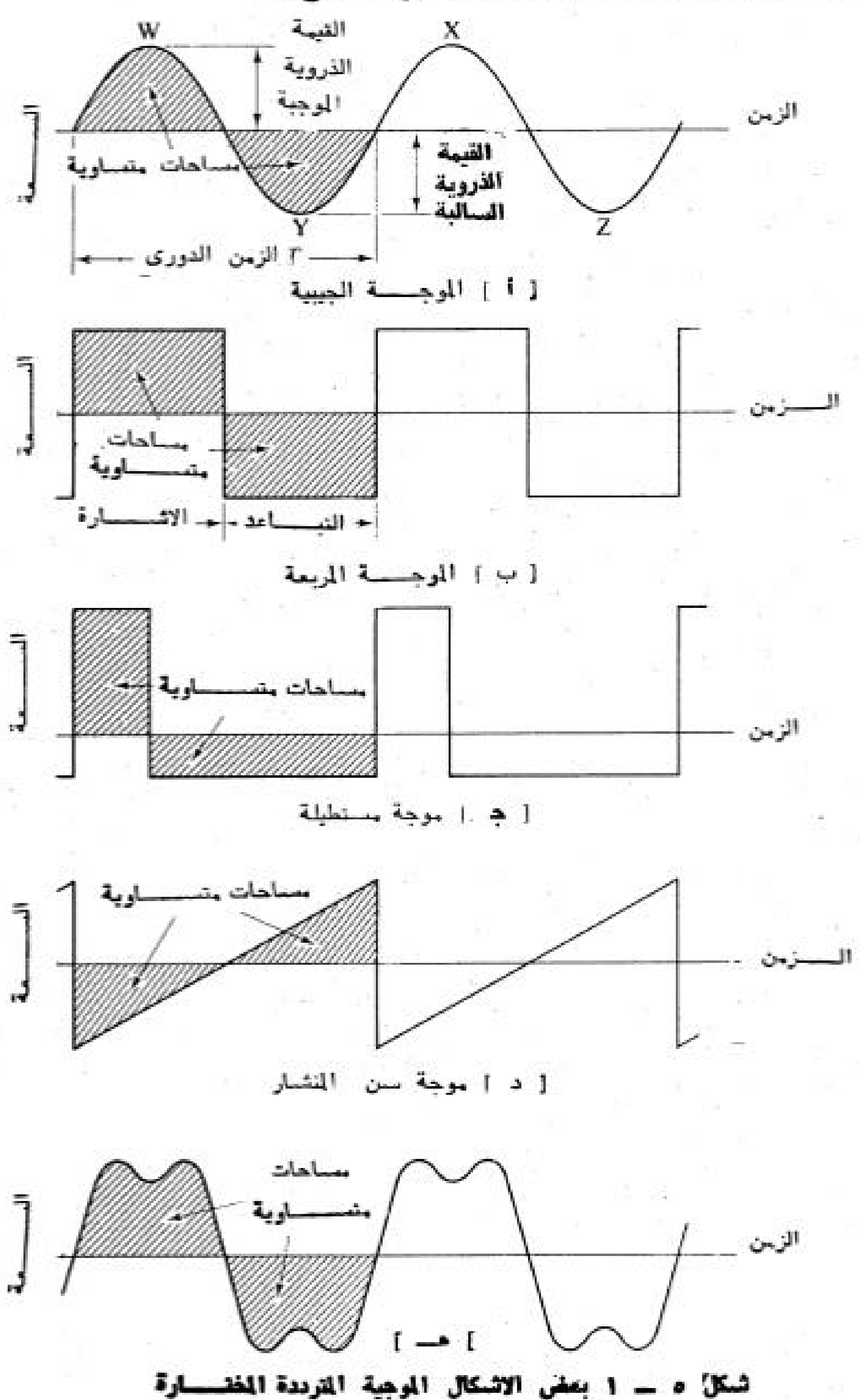
٥ ـ ١ الاشكال الموجية المترددة

يوضح شكل [٥ ـ ١]مجموعة مختارة من الاشكال الموجية المترددة المتداولة فى الدائرة الكترونية .

ولنلاحظ انه عندما يراد الاشارة الى الشكل الموجى المتردد فانه من المألوف أن يسمى بالشكل الموجى للتيار المتردد ، ولو ان ذلك ليس تعبيرا دقيقا . وفى هذا الكتاب فان تعبير جهد تيار متغير سوف يعنى جهدا مترددا، أما مصدر « تيار متردد » فانه يعنى مصدرا مترددا ... الخ .

وسنوضح فيما يلى بعض الخصائص البارزة للاشكال الموجية التى يمثلها شكل [٥ ـ ١] . ومن اللازم ان نعرف اولا معنى شكل موجى متردد ، فهو الشكل الذى تساوى قيمه المتوسطة فى دورة كاملة للموجة صفرا . بمعنى انه ، اذا ماعن لنا قياس جهد المصدر المتردد باستخدام d.c فولتميتر [القراءة المتوسطة] فان قراءته ستكون صفرا . وبالمثل اذا ما وصل d.c اميتر على التوالى مع حمل a.c فان قراءته تكون صفرا ايضا.

ويوضح شكله ٥ ــ ١ [أ] شكلا موجيا أساسا ، وهو الموجة الجيبية ، والذى يعتبر شكلا شائعا من الاشكال الموجية لمولد التيار المتردد وكذا لخرج بعض أنواع المذبذبات . ويتوازن الشكل الموجى حول خط الصفر وتتساوى المساحة التى فوق خط الصفر خلال النصف الاول للدورة مع قيمة المساحة التى تحت خط الصفر خلال نصف الدورة الثانى .



شكل ٥ ــ ١ بعض الاشكال الموجية المترددة المختـــارة

وفى الحقيقة فان مساحات جميع الاشكال الموجية المترددة اسفل واعلى خط الصفر تتساوى كما هو موضح بالشكل .

ان الزمن الدورى او فترة الذبذبة ، ورمزها T ، لشكل الموجة المترددة هو الزمن اللازم لاتمام دورة واحدة قابلة للتكرار . ويقاس الزمن الدورى للموجة بالثانية او مضاعفات الثانية . وفى الشكل ٥ — ١ [أ] ، يبين الزمن الدورى على انه الفاصل الزمنى بين نقطتى الصفر على الشـــكل الموجى عندما يكون التزايد موجبا . ومن الممكن ايضا قياس الزمن الدورى بين النقطتين W و X او بين النقطتين Y و Z او بين اى نقطتين تحتويان على دورة كاملة من التغيرات .

وتردد الشكل الموجى المتردد ، ورمزه f ، هو عدد دورات الموجة المقطوعة كل ثانية . اما وحدة التردد فى النظام الدولى الاصطلاحى (SI) فهو الهرتز ورمزها Hz والعلاقة بينهما وبين الزمن الدورى هى

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

والموجة التى يبلغ زمنها الدورى 2 ميكرو ثانية $(2 \times 10^{-6}\text{ s})$ يكون لها تردد تبلغ قيمته

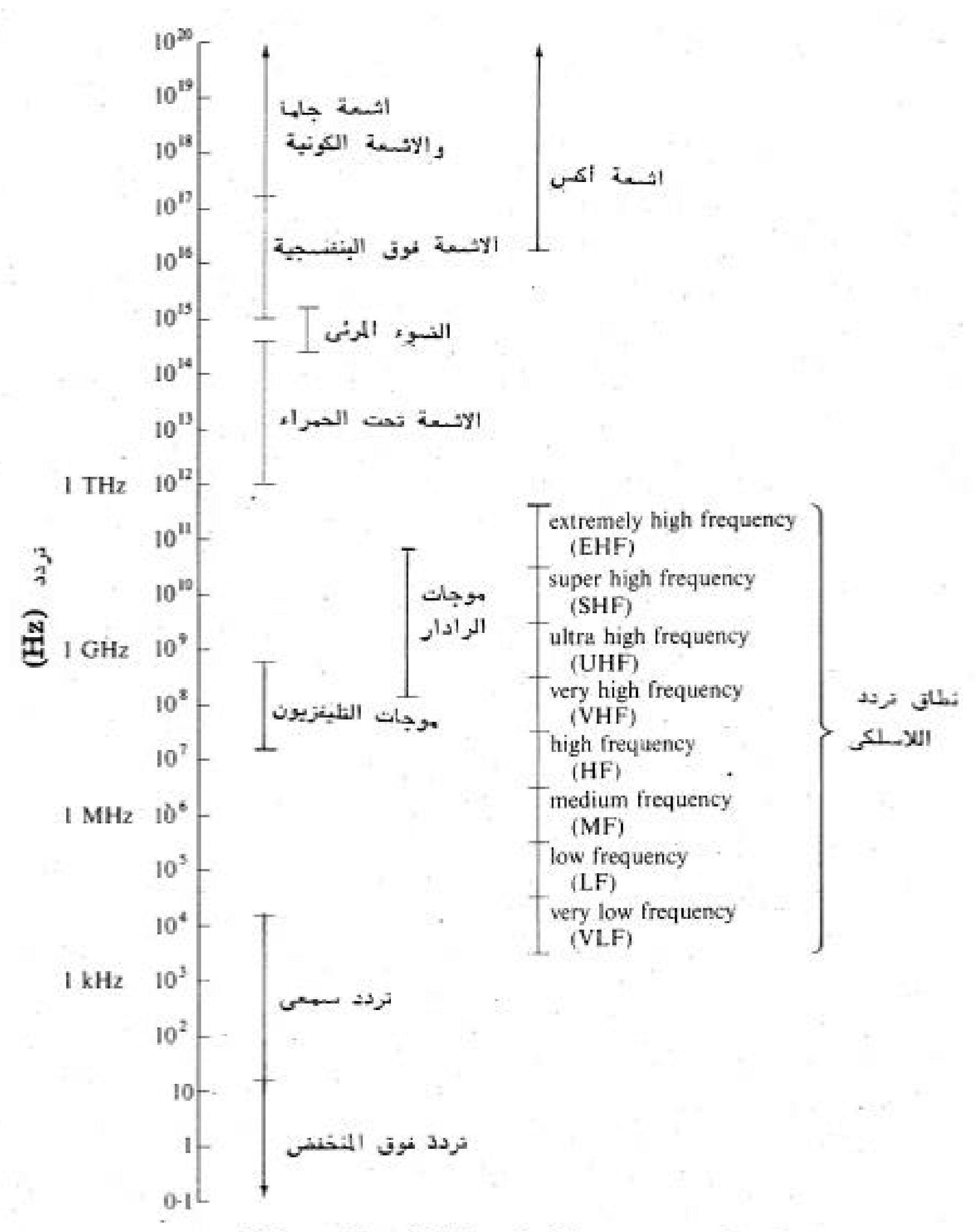
$$f = 1/(2 \times 10^{-6}) = 0{\cdot}5 \times 10^{6}\text{ Hz} = 500\,000\text{ Hz} = 500\text{ kHz}$$

وعند النهاية الاخرى لطيف التردد يتخذ تردد مصدر القدرة فى النظام البريطانى قيمة مقدارها 50 Hz بزمن دورى قيمته 1/50 s و 20 ms . وفى امريكا يتخـذ تردد مصدر القدرة قيمة مقدارها 60 Hz بزمن دورى قيمته 16.67 ms ويوضح شكل [٥ — ٢] الجزء الاكبر من طيف التردد المعروف ويستخدم فى الشكل مضاعفات التردد

1 kHz = 1 kilohertz = 1 000 Hz
1 MHz = 1 megahertz = 1 000 000 Hz = 1 000 kHz
1 GHz = 1 gigahertz = 1 000 000 000 Hz = 1 000 MHz
1 THz = 1 terahertz = 1 000 000 000 000 Hz = 1 000 GHz
= 1 000 000 MHz

ويبدأ مدى الترددات التى نقابلها عادة فى علم الالكترونيات عند حوالى 10 Hz فى اسفل نهاية نطاق التردد السمعى وتمتد حتى 10^{11} Hz بالتقريب (100 GHz or 100 000 MHz) فى اعلى نهاية نطاق تردد الرادار . ويلزم تشغيل بعض انواع الاجهزة على درجة كبيرة من الدقة مثل ساعة اليد الالكترونية التى تعمل بمذبذب يبلغ تردده 32768 Hz

ويقع نطاق مابعد التردد المنخفض اسفل نطاق التردد السمعى . ونادر ما نواجه مثل هذه الترددات فى التطبيقات العملية التى قد تشمل اجهزة اختبار التردد فى نظم التحكم مثل نظم التحكم الكهروميكانيكية [آليةالتحكم] القوى والتى تكون استجابتها فى غاية البطء .



شكل (٥ ـــ ٢)   قطاع فى طيف التردد الكهرو مغناطيسى

وتكون القيمة الذروية لشكل الموجة المترددة هى أقصى قيمة يمكن الوصول اليها سواء كانت اعلى او اسفل خط الصفر . وتوجد قيم ذروى متساوية خلال كل نصف دورة للاشكال الموجية [أ] ، [ب] ،[د] ،[هـ] والموضحة فى شكل [٥ ـــ ١] . أما فى حالة الموجة المستطيلة شكل [٥ ـــ ١ [جـ]] فان قيم الذروى الموجبة والسالبة لا تتساوى .

وفى بعض الحالات ، تستخدم قيمة ما بين الذروتين للشكل الموجى فى الحسابات ، وهى تمثل الفرق بين القيمة الذروية الموجبة والقيمة الذروية

السالبة وهى ضعف القيمة الذروية لكل من الاشكال الموجية [أ] ، [ب] ، [د] ، [هـ] ، فى شكل [٥ — ١] .

وتعرف جميع الاشكال الموجية من[ب] الى [هـ] فى شكل [٥ — ١] بالاشكال الموجية غير الجيبية . للموجة المربعة التي فى شكل [ب] ، فان الفترة الزمنية للجهد الموجب تتساوى مع الفترة الزمنية للجهد السالب، ونعرف هاتين الفترتين، كل على حدة ، بفترة الاشارة وفترة التباعد للموجة. وتعرف النسبة الزمنية للفترتين بنسبة الاشارة الى المباعدة للموجة . ففى حالة الموجة المربعة بالشكل [ب] فان قيمة هذه النسبة تساوى واحدا أما بالنسبة للموجة المستطيلة بالشكل [ج] فان قيمة هذه النسبة هى3 : 1

يوضح شكل ٥ — ١ [د] احد انواع الموجات الاشريه [سن المنشار] وسميت كذلك بسبب شكلها . ويتواجد مثل هذا النوع من الموجات فى دوائر الانحراف النقطى الزمنى لرسمة التذبذبات وفى دوائر تزامنية اخرى ويعتبر الشكل الموجى المبين فى شكل [٥ — ١ [هـ]] نموذجا شائعا لموجة جيبية مشوهة .

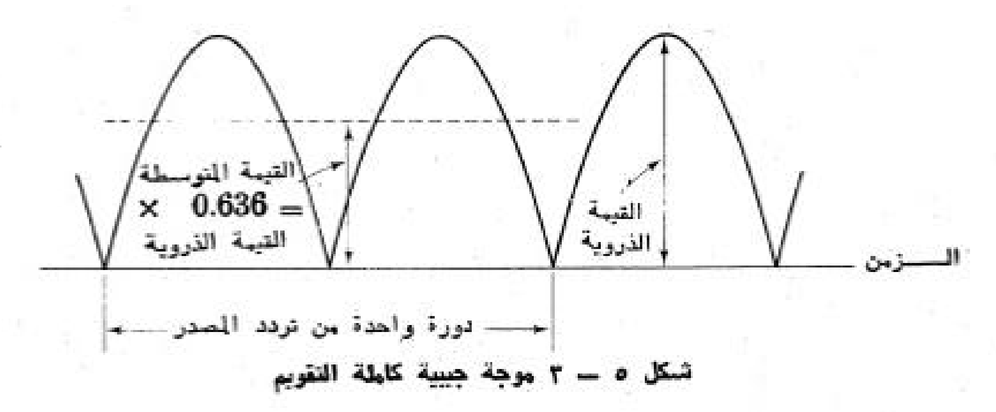
٥ — ٢ القيمة المتوسطة للموجة المترددة

كما ذكر سابقا ، فانه بالنسبة للموجة المترددة الحقيقية تتساوى المساحة الموجبة مع المساحة السالبة وتساوى المساحة الكلية تحت المنحنى صفرا [مع الاخذ فى الاعتبار الاشارة الرياضية لكل من المساحتين] . وبالتالى ، تكون القيمة الحقيقية للوسط الحسابى [أو متوسط القيمة] للموجة المترددة مساوية للصفر .

وفى الهندسة الكهربائية والالكترونيات ، تكون القيمة المتوسطة هى المرجع المألوف للموجة المترددة . وفى هذه الحالة ، يرجع الى القيمة المتوسطة للموجة بعد أن تكونقد قومت بواسطة مقوم مثالىللموجة الكاملة. وسوف تناقش عملية التقويم تفصيليا فى الفصل الثامن وسيعطى هنا مجرد وصف مبسط . ويتولى مقوم الموجة الكاملة وظيفة قلب انصاف الموجات السالبة بطريقة فعالة ، بحيث تبدو جميع انصاف الموجات فوق خط الصفر . ويوضح شكل [٥ — ٣] موجة جيبية كاملة التقويم ، وحيث أن كلا مننصفىالدورتين قد اتخذ الان اشارة موجبة فانه يمكن بالتالى قياس او حساب القيمة المتوسطة للموجة وفى حالة الموجة الجيبية ، تكون القيمة المتوسطة هى

القيمة المتوسطة = 0.636 × القيمة الذروية

وتكون القيمة المتوسطة لتيار جيبى متردد ذو ذروة قيمتها10 mA ، هى 6.36 mA . وينبغى ادراك أن الرقم 0.636 يتعلق بالموجة الجيبية فقط وليس بالموجات الاخرى غير الجيبية .



شكل ٥ ــ ٣ موجة جيبية كاملة التقويم

فمثلا تتساوى القيمة المتوسطة للموجة المربعة [شكل ٥ ــ ١ [ب]] مع القيمة الذروية للموجة .

٥ ــ ٣ قيمــة جــذر متوســط المربعات « ج • م • م » أو القيمــة الفعــالة للموجـــة المــترددة

قيمة ج٠م٠م للموجة المترددة هى قيمتها الفعالة أى انها هى القيمة التى تحدث نفس كمية الحرارة التى يحدثها التيار المستمر اذا مر فى نفس المقاومة . ففى حالة الموجة الجيبية .

قيمة ج٠م٠م = 0.707 × القيمة الذروية

فبالنسبة لمصدر جهد 240 V ج٠م٠م فان

$$\text{القيمة الذروية} = \frac{\text{قيمة ج٠م٠م}}{0.707} = \frac{240}{0.707} = 339.5 \ \text{فولت}$$

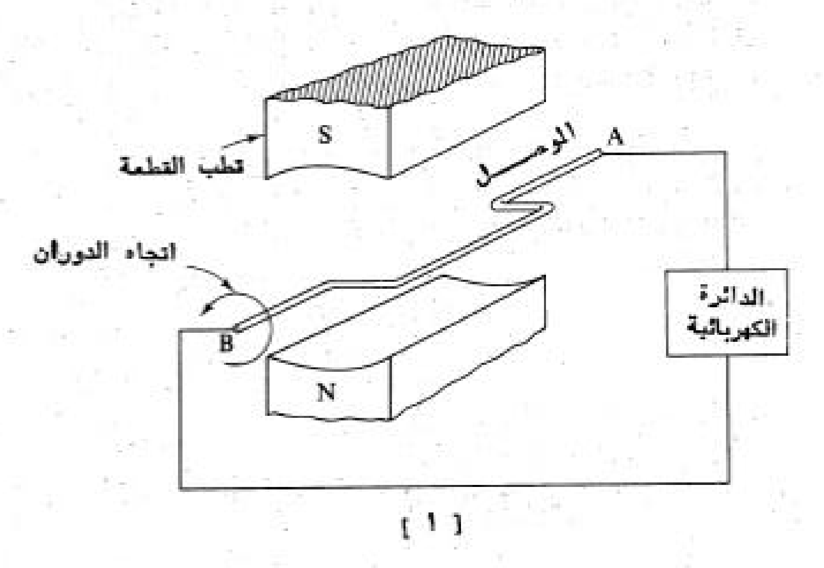
ويطبق المعامل 0.707 المعطى عاليه في حالة الموجة الجيبية فقط ، وليس للموجات الاخرى . فمثلا تتساوى قيمة ج٠م٠م. للموجة المربعة مع قيمتها الذروية .

٥ ــ ٤ بيــــان علاقـــة الطـــور

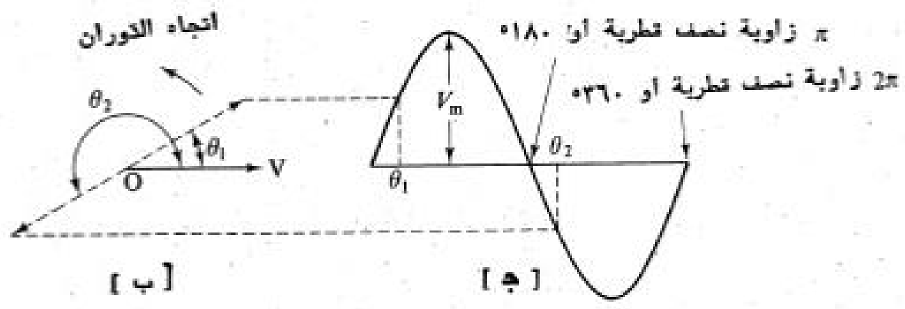
لنأخذ تحت الاعتبار مولدا للجهد المتردد ذا سلك واحد كما هو موضح بالشكل ٥ ــ ٤ [أ] اذ يدور السلك ، ذى المرتكز عند مركز المغناطيس الدائم ، بسرعةثابتة . فعندما يكون السلك فى الوضع الاقرب للقطب الشمالى S من المغناطيس ، فان الجهد المستحث به يتخذ اتجاها بحيث

يؤدى الى سريان التيار خارجا من الطرف A للسلك . اما اذا كان السلك فى الوضع الاقرب للقطب الجنوبى A ، فان التيار يسرى خارجا من الطرف B فى هذه الحالة . وهكذا تتناوب قطبية الطرف N للسلك اتخاذ اشارة موجبة ثم اخرى سالبة عند دوران السلك فى المجال المغناطيسى .

والان ، لنفترض ان OV فى شكل ٥ — ٤ [ب] يمثل بمقياس رسم مناسب اقصى قيمة V_m من الجهد المتردد والمستحث فى هذا السلك . ولنفترض ايضا أن OV [يعرف بمبين الطور] يدور بسرعة ثابتة ضد اتجاه عقرب الساعة . فاذا ما رصدت المساقط العمودية لطرف مبين الطور خلال دورانه ، نستطيع أن نتحصل على موجة جيبية شكل ٥ — ٤ [جـ] . وتتزامن نقطة البداية للموجة مع اللحظة التى يتخذ فيها مبين الطور وضعا افقيا ؛ اى عندما تكون زاوية الدوران مساوية للصفر . فبعد ما يدور مبين الطور زاوية مقدارها θ_1 يكون جهد الطرف A للسلك فى اى جهد من الطرف B . وبعد جزء من الوقت ، يكون مبين الطور قد دار خلال زاوية θ_2 مقاسة من نقطة البداية ، ويصبح جهد الطرف A للسلك سالبا بالنسبة للطرف B ، وبعد دورة كاملة يكون طرف مبين الطور قد رسم موجة جيبية كاملة .



[أ]



[ب] [جـ]

شكل ٥ — ٤ [أ] مولد يتردد ذو سلك واحد [ب] تمثيل الجهود المتولدة بواسطة مبين الطور [جـ] جهد الموجة الجيبية .

وحيث ان الدورة كاملة لمبين الطور تستغرق °360 ميكانيكية فانه ، نظرا لوجود زوج واحد فقط من الاقطاب ، تتساوى الدرجات الكهربائية للموجة المترددة مع الدرجات الميكانيكية وتصبح °360 كهربائية ايضا . وغنى عن البيان ، أن عدد الدرجات الميكانيكية طبقا لمضاعفات عدد ازواج الاقطاب الموجودة . وتقاس زاوية الدوران ، كطريقة بديلة فى بعض الاحيان بعدد الزاوية النصف قطرية فيما يسمى بالتقدير الدائرى . ويوضح شكل ٥ — ٥ فكرة القياس بالزاوايا النصف قطرية .

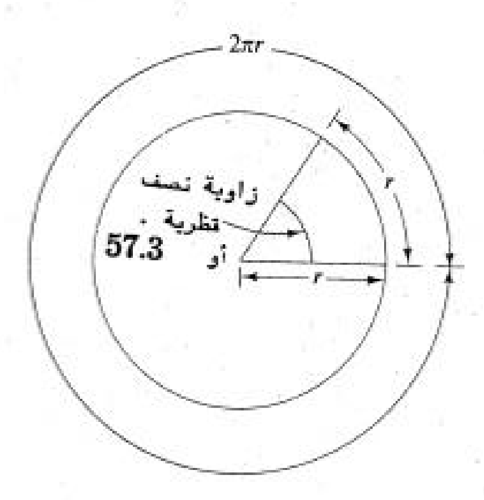
فالزاوية النصف قطرية هى الزاوية المركزية التى يتساوى طول قوسها المحصور بين ضلعيها مع نصف قطر الدائرة المرسومة فيها هذه الزاوية ، وقيمة الزاوية النصف قطرية تساوى °57.3 بالتقدير الستينى . ويوجد هناك 2π (6.284) زاوية نصف قطرية بالدائرة أو فى دورة كاملة . لذا فان

°180 تكافىء π زاوية نصف قطرية

°360 تكافىء 2π زاوية نصف قطرية

ويتساوى الزمن الذى يستغرقه السلك فى شكل ٥ — ٤ [أ] ليدور دورة كاملة مع الزمن الدورى T للموجة المترددة ، لذا فان سرعة دوران السلك w مقدرة بعدد الزوايا النصف قطرية لكل ثانية تكون

$$w = \frac{2\pi \text{ زاوية نصف قطرية}}{\text{الزمن الذى تستغرقه دورة كاملة}} = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s}$$



شكل ٥ — ٥ الزاوية النصف القطرية

لقد وضح سابقا أن تردد الموجة يساوى 1/T اذن

$$\omega = 2\pi f \quad \text{rad/s}$$

حيث f هي التردد مقدرا بالهرتز . وتعرف الكمية w احيانا بالتردد الزاوي للموجة وتعطي السرعة الزاوية للشكل الموجى ذى تردد يساوى 50 Hz بالقيمة التالية :

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi = 314{\cdot}2 \text{ rad/s}$$

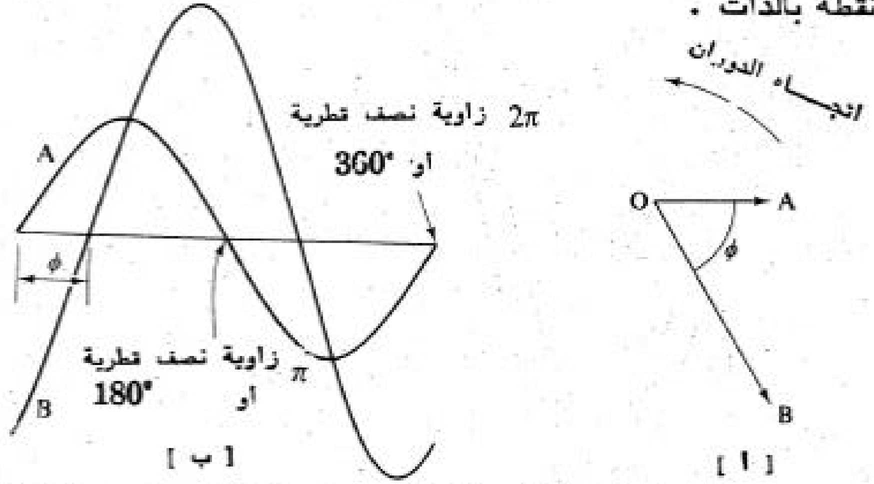
لقد وجد ان نكرة التردد الزاوى ذات فائدة خاصة عند التعامل مع دوائر التيار المتردد .

٥ ـ ٥ اختلاف زاوية الطور

نتعامل فى كثير من الدوائر الالكترونية مع موجات جيبية للجهد والتيار حيث تختلف زاوية الطور بينهم . ويوضح شكل [٥ ـ ٦] مثالا على ذلك . فمن الممكن توليد مبينين للطور فى حركة دائرية كما هو موضح بالرسم (a) من الشكل المذكور بواسطة سلكين منفصلين داخل المولد الكهربائى ولكن يبعد كل منهما عن الاخر بزاوية ϕ [تنطق فاى] .

فعند لحظة الزمن تحت الاعتبار فى الرسم [أ] يتخذ مبين الطور OA وضعا افقيا ، وتكون القيمة اللحظية عند اسقاط الموجة الجيبية [الرسم [ب] مساوية للصفر . ويتخذ مبين الطور OB . فى نفس اللحظة ، الوضع الاسفل بحيث تتخذ قيمته المسقطة على الشكل الموجى فى [ب] اشارة سالبة . عند دوران مبينى الطور ضد اتجاه عقارب الساعة تصبح قيمة الشكل الموجى A موجبة بينما تقل القيمة السالبة للشكل الموجى B حتى تصبح القيمة اللحظية للمنحنى B مساوية للصفر وذلك بعد زاوية من الدوران مقدارها ϕ .

وتستخدم طريقة مبسطة فى الهندسة الكهربائية لشرح الاوضاع النسبية لمبينات الطور المختلفة من خلال بيان العلاقة الموضح فى شكل [٥ ـ ٦] كالاتى . فمع اتخاذ اتجاه دوران مبينات الطور طبقا للاصطلاح المعمول به [ضد اتجاه عقارب الساعة] ينبغى ملاحظة ترتيب مرور مبينات الطور عند نقطة بالذات .



شكل ٥ ـ ٦ رسم يوضح ان ضابط الطور B متاخر من ضوابط الطور A بزاوية ϕ او بمعنى آخر بيان علامة الطور B متقدم عن بيان علاقة الطور A .

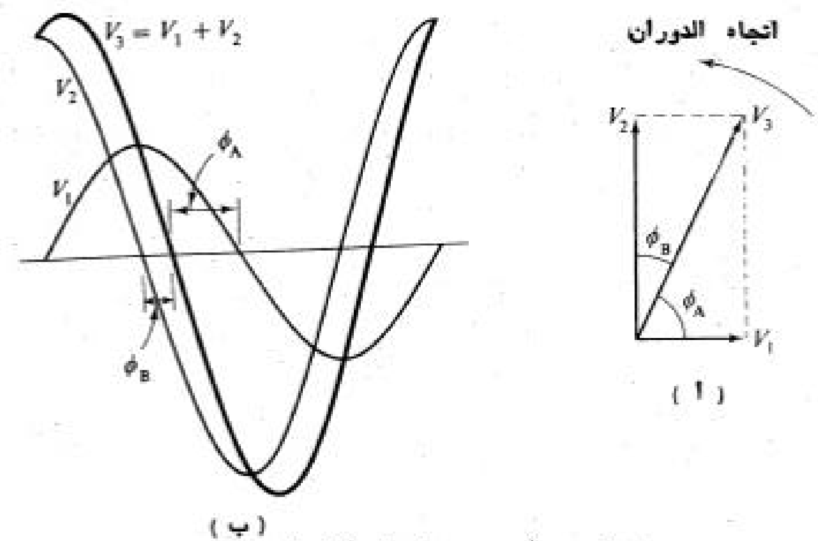
وللسهولة ، تأخذ هـذه النقطة عادة فوق الخط الافقى على يمين مركز دوران مبينات الطور . وفى الشكل ، نستطيع ان نرى مبين الطور OA مارا خلال هذا الخط الافقى قبل ان يمر به مبين الطور OB . لذا يقال أن مبين الطور OA يتقدم عن مبين الطور OB بالزاوية ϕ . وبكيفية اخرى ، يقال ان مبين الطور OB يتخلف عن مبين الطور OA بالزاوية ϕ . وكثيرا ما يرجع الى الزاوية ϕ على انها « الاختلاف الطورى » او « زاوية الطور » بين مبينى الطور .

وحيث أن دورة الموجة المترددة تتم خلال فترة زمنية ثابتة [الزمن الدورى] فان زاوية دوران مقدارها 360° كهربائية تكافىء فترة زمنية تساوى الزمن الدورى . فاذا كان تردد الموجة يساوى 50 Hz ، فان زمنا دوريا قدره 1/50 s او 20 mS يكافىء دوران مبين الطور خلال زاوية مقدارها 360° . اذا كانت زاوية الطور ϕ بالنسبة لشكل ٥ — ٦ تساوى 60° ، فان «الاختلاف الطورى» عند تردد للمصدر يساوى 50 Hz، يناظرفارقا زمنيا بين مبينى الطور مقداره 20 × 60/360 = 3.33 mS . اما عند تردد مقداره 500 Hz [اى ان الزمن الدورى = 2 mS] فان زاوية للطور مقدارها 60° تناظر فارقا زمنيا مقداره 0.333 mS .

٥ — ٦ جمع الموجات الجيبية

يبين شكل [٥ — ٧] طريقة جمع مبينى الطور V_1 و V_2 . نطبقا للطريقة الموضحة عاليه يتضح أن مبين الطور V_2 يتقدم عن مبين الطور V_1 بزاوية مقدارها 90° . ويوضح الرسم [ا] عملية جمع مبينى الطور V_1 ، V_2 بطريقة الرسم بأكمال متوازى الاضلاع للحصول على المحصلة V_3 . ويدور مبين الطور V_3 بنفس سرعة V_1 و V_2 ويرسم الاسقاط العمودى لطرفه موجه جيبية كما فى شكل [٥ — ٧ [ب]] .

وفى هذه الحالة تحت الاعتبار ، يتقدم مبين الطور V_3 عن V_1 بزاوية مقدارها ϕ_A ويتخلف عن V_2 بزاوية مقدارها ϕ_B . ويتضح من شكل ٥ — ٧ [ب] ان الزمن الدورى والتردد لكل من V_3 و V_2 و V_1 متماثل .



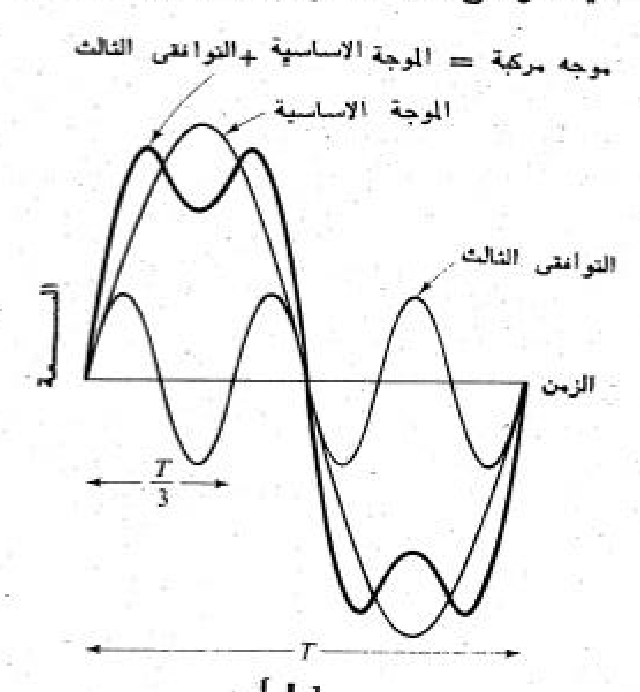
شكل ٥ — ٧ جمع الموجات الجيبية

٥ ــ ٧ التوافقيـــــــــات

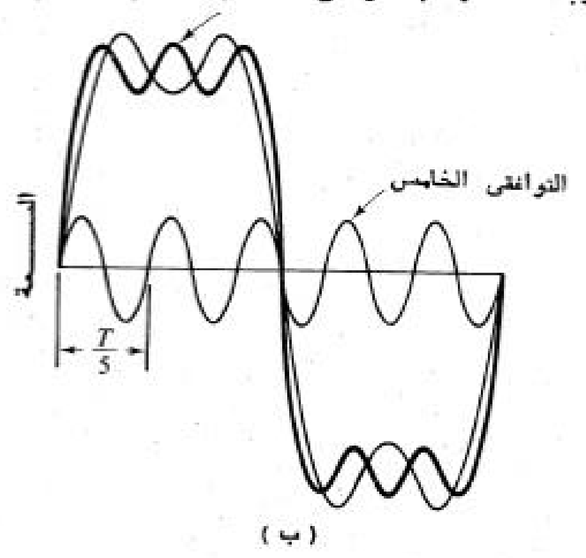
يمكن اعتبار الاشكال الموجية المترددة غير الجيبية مثل الموجة المستطيلة وموجة اسنان المنشار الموضحتين فى شكل [٥ ــ ١] وكأنها مركبة من مجموع عدة موجات جيبية . ولهذه الموجات الجيبية ، مضاعفات شاملة ، [بأرقام صحيحة] للترددالاساسى [التردد الرئيسى] . وتعرف هذه الترددات الاعلى ، والتى تشارك فى تركيب الشكل الموجى النهائى بالترددات التوافقية او بالتوافقيات للسهولة . ويتخذ التردد التوافقى الثانى قيمة تعادل ضعف التردد الرئيسى بينما يتخذ التردد التوافقى الثالث قيمة تعادل ثلاثة اضعاف التردد الرئيسى .. الخ . فاذا كانت قيمة التردد الرئيسى تعادل 1 KHz ، فان قيمة التردد التوافقى الثانى تعادل 2 KHz ،ويعادل التردد التوافقى الثالث ما قيمته 3 KHz بينما تصبح قيمة الترددذ التوافقى الخامس عشر معادلة لــ 15 K Hz ... الخ .

وتسمى عملية تركيب موجة مركبة وغير جيبية من التردد الاساسى وعدد من التوافقيات بالتركيب الموجى ، ويمكن توضيحها فى حالة الموجة المربعة المبينة بشكل ٥ ــ ٨ . وتتخذ الخطوة الاولى لتركيب الموجة باضافة التردد الرئيسى ذى الزمن الدورى T على التردد التــوافقى الثالث ذى الزمن الدورى T/3 . فبعد نهاية جمع الموجتين كل منهما للاخرى ، تبدو الموجة المحصلة كما فى شكل ٥ ــ ٨ [أ] وقد ظهر تتابع موجى صغير عند كل ذروة ، الموجبة منها والسالبة . وتبلغ ذروة الموجة التوافقية الثالثة ثلث ذروة الموجة الرئيسية .

فاذا اضفنا الان الموجة التوافقية الخامسة ، والتى تبلغ ذروتها خمس ذروة الموجة الرئيسية ، الى الموجة المركبة التى حصلنا عليها فى الرسم [أ] فاننا نحصل على الموجة الموضحة فى شكل [٥ ــ ٨ [ب]] . ومن الممكن ان نرى كيف يؤدى تجميع الموجات التوافقية الثالثة والخامسة مع الموجــة الرئيسية لبدء اتخاذ شكل الموجة المربعة . فاذا ما استطردنا فى تجميـــع التوافقيات السابعة والتاسعة والحادية عشرة وجميع الترددات التوافقية الفرديه التــــالية ، والتى تتصـــاغر قيمتهـــا الواحـــده تــلو الاخرى .



[أ]



شكل ٥ ـــ ٨ خطوات التركيب الموجى

فان ذلك يؤدى الى أن يقترب الشكل الموجى أكثر واكثر لاتخاذ شـــكل الموجة المربعة . ومن الوجهة النظرية ، فلابد من اضافة عدد لانهائى من الترددات التوافقية لكى يتم تركيب موجة مربعة خالصة .

وتقوم غالبية الاجهزة الموسيقية الالكترونية بتركيب الاصوات الموسيقية بطريقة مشابهة لما وضح عاليه . ويتم تجميع تشكيلة واسعة من الاشكال الموجية ، والتى لا يتحتم أن تكون جيبية بالضرورة ، حتى يتسنى الوصـــول الى تركيبات لاشكال موجية اخرى أكثر شمولا .

ويعطى كثير من المعدات الالكترونية اشكالا للتيار غير جيبية الموجـــة وبالتالى فانها تمرر كمية كبيرة من الترددات التوافقية العالية بالتيار . ويعتبر المصباح الفلورى مثالا لواحد من أنواع مولدات التيار بالترددات التوافقية حيث يقوم بتولبد كمية كبيرة من الاشارات الالكترونية ذات التردد العـــالى. فاذا لم تتخذ الاحتياطات لكبت هذه التوافقيات ، فمن الممكن أن تؤدى الى تداخل مع مستقبل المذياع وجهاز التليفزيون . وقد تؤدى نبائط المفـــاتيح الالكترونية مثل الثايرستور الى تحميل مصدر الجهد بتيارات ذات ترددات عالية مما قد يؤدى الى مشاكل تداخلات مع الاجهزة الالكترونية القريبة .

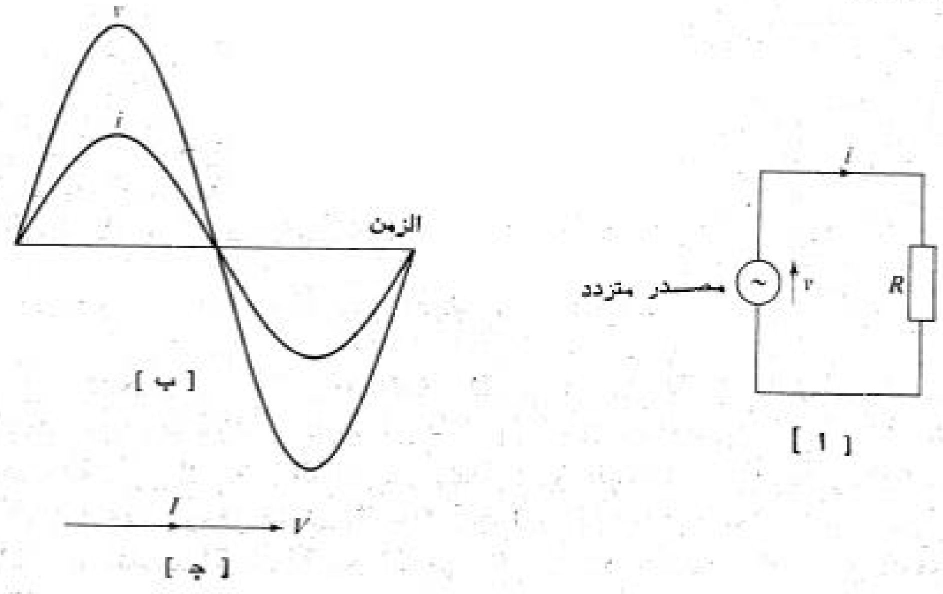
وتسمى عملية تحويل الموجة المركبة ، الموجة المربعة على سبيل المثال ، الى عناصرها التوافقية المكونة باسم التحليل الموجى ، وتتم هذه العملية بواسطة معدات تستخدم مرشحات ذات حساسية للترددات .

الفصل السادس

دوائر التيار المتردد

٦ ـ ١ المقاومة فى دائرة التيار المتردد

عند تسليط جهد متردد بين طرفى مقاومة كما فى شكل ٦ ـ ١ [أ] فان التيار المار فىالدائرة يتناسب دائما مع الجهد . بالتالى : يتماثل الشكل الموجى لكل من التيار والجهد من جهة الشكل والطور [أنظر شكل ٦ ـ ١ [ب]] .



شكل ٦ ـ ١ الشكل الموجى لدائرة ترددية (a.c) تحتوى على مقاوم نقى .

حيث أن كلا من الجهد والتيار لهما نفس الطور فان التماثل الاتجاهى لهما يكون كما فى شكل ٦ ـ ١ [ج] حيث تمثل الكميات I و V الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لمربع كل كمية لـ (r.m.s) او القيمة الفعالة للتيار والجهد على الترتيب . ويطبق قانون اوم على هذه الدائرة كالاتى :

$$V = IR$$

حيث V و I هى الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لمربع كل من الفولت والتيـــار .

اذا وصل بين طرفي مقاومة مقدارها $10\,\Omega$ جهد قيمته 20 m V r.m.s فان القيمة الفعالة للتيار المـــار فى الدائرة تكون

$$I = \frac{20 \times 10^{-3}}{10} = 2 \times 10^{-3}\,\text{A} = 2\,\text{mA}$$

وتكون قيمة القـــدرة المستهلكة

$$P = VI = 20 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3} = 40 \times 10^{-6}\,\text{W} = 40\,\mu\text{W}$$

٦ ــ ٢ المحـــاثة فى دائـــرة التيـــار المـــتردد

عند توصيل محث نقي بمصدر متردد فان التيار المنساب المار في الدائرة يتخلف عن الجهد المسلط بزاوية مقدارها $90°$ وينتج هذا من القوة الدافعة الكهربائية [ق.د.ك] العكسية والمستحثة فى الملف عندما يتغير التيار المار فى الملف كما سنوضح فيما يلي :

ذكر فى الفصل الرابع أن الـــ .ق.د.ك المستحثة ذاتيا فى الملف e هى

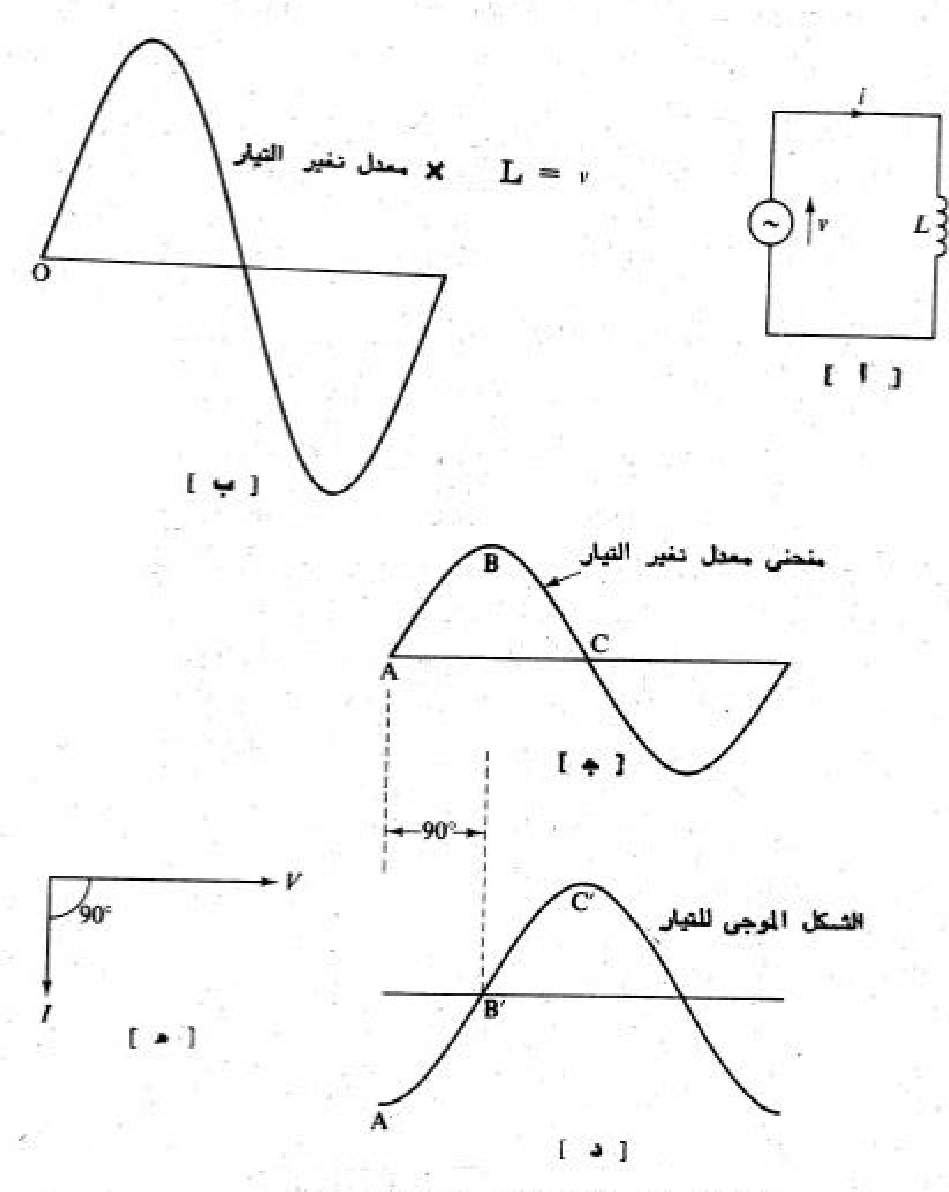
e = L × معدل تغير التيار

فى الدائرة المحتوية على محاثة بحتة فقط ، تكون القيمة اللحظية للـــ ق.د.ك العكسية فى الملف هى فرق الجهد الوحيد فى الدائرة ويساوى القيمة اللحظية للجهد المسلط . اذن

V = L × معدل تغير التيار

يبين شكل ٦ ــ ٢ [ب] الشكل الموجي للجهد V حينما يكون مصـــدر الجهد جيبيا وببساطة ، حيث أن L عبارة عن قيمة عددية فانه من المعادلة السابقة يكون للمنحنى الذى يمثل معدل تغير التيار نفس زاوية وجه الجهد V كما هو مبين فى شكل ٦ ــ ٢ [ج] . لكى نحصل على الشكل الموجى للتيار . نتابعنقطة بنقطة من المنحنى C . عند النقطة A على المنحنى (C) ، قيمة معدل تغير التيار تساوى صفرا ولكن على يمين النقطة A مباشرة تكون لها قيمة موجبة وهذا معناه ان ميل منحى التيار ، المنحنى (d) يكون صفرا عند A ولكنه يصبح موجبا على يمين A [اى ان الميل الى اعلى من الشمال الى اليمين] . وعند التحرك للنقطة B على المنحنى (C) تتخذ قيمة معدل تغير التيار عند هذه اللحظة قيمتها العظمى . وهذا يملى أن ميل منحنى التيار [المنحنى d] يكون موجبا واكبر ما يمكن عند اللحظة

B . وتكون قيمة معدل تغير التيار بين النقطتين (B) ، (C) موجبة ولكن قيمتها تتناقص بالتالى يصبح ميل منحنى التيار بين النقاط المناظرة اقل حدة تدريجيا ، حتى عند النقطة C يصبح ميل المنحنى يساوى صفرا . وهـذا يعنى أن المنحنى يصل عند قيمته الذروى لحظيا . وتصبح قيمة معـدل تغير التيار ، على يمين النقطة مباشرة ، سالبة على المنحنى (C) ، وهذا يعلى ان ميل منحنى التيار اصبح سالبا . وهكذا تكون ميول منحنى التيار من اليمين الى الشمال حتى يتلاشى فى القيمة مع الزمن .



شكل ٦ ــ ٢ محاثة بحتة ضمن دائرة تيار متردد

باستمرار المناقشة على الجزء الباقى من المنحنى (C) نحصـــل على الشكلْ الموجى لمنحنى التيار (d) الذى هو عبارة عن منحنى جيبى متخلف

عن المنحنى (b) بزاوية قدرها 90° . ويوضح شكل ٦ — ٢ [هـ] العلاقة بين الجهد والتيار والمناظر لهذه الدائرة .

ملخص . فى دائرة التيار المتردد المحتوية على محاثة بحتة فقط يتخلف التيار عن الضغط المسلط بزاوية مقدارها 90° .

ايضا تحد الـ . ق.د.ك المستحثة فى الملف من قيمة التيار المنساب فى الدائرة . وحتى اذا كانت قيمة مقاومة الملف تساوى صفرا فان قيمة الـ ق.د.ك المستحثة فى الملف تحد ايضا من قيمة التيار .

وهذا التأثير الحدى فى دائرة تحتوى على محاثة بحتة يعرف بمفاعلة الحث ويرمز لها بالرمز X_L ، حيث

$$X_L = \frac{V}{I} = 2\pi fL = \omega L \quad \Omega \text{ [L بالهنرى]}$$

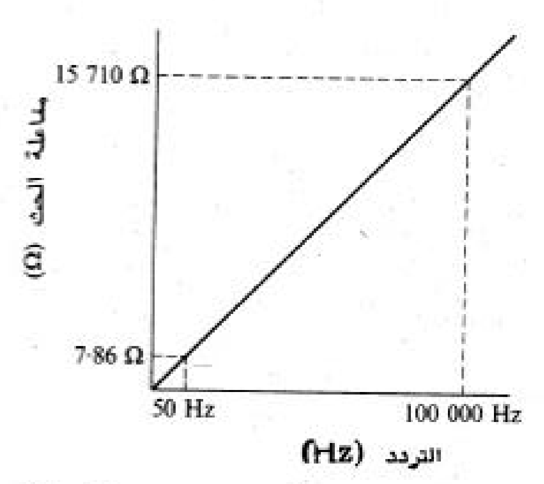
مفاعلة ملف ذى محاثة مقدارها 25 mH عند تردد 50 Hz

$$X_L = 2\pi \times 50 \times 25 \times 10^{-3} = 7860 \times 10^{-3} = 7{\cdot}86\,\Omega$$

وعند تردد 100 KHz تكون مفاعلة الحث مقدارها

$$X_L = 2\pi \times 100 \times 10^3 \times 25 \times 10^{-3} = 15\,710\,\Omega$$

واضح من الحسابات السابقة ان مفاعلة الحث تزداد مع التردد . يبين شكل ٦ — ٣ [أ] كيفية تغير مفاعلة الملف مع التردد . وكنتيجة لذلك فانه عندتوصيل محاثة بقيمة معينة ضمن دائرة فان التيار الذى يسمح بمروره فى الدائرة عند التردد المنخفض يكون اكبر من التيار الذى يسمح بمروره عند التردد العـــالى .



شكل ٦ — ٣ رسم يبين تغير مفاعله الحث لمحاثة مقدارها 25 mH مع التردد

٦ ــ ٣ المكثف فى دائرة التيار المتردد

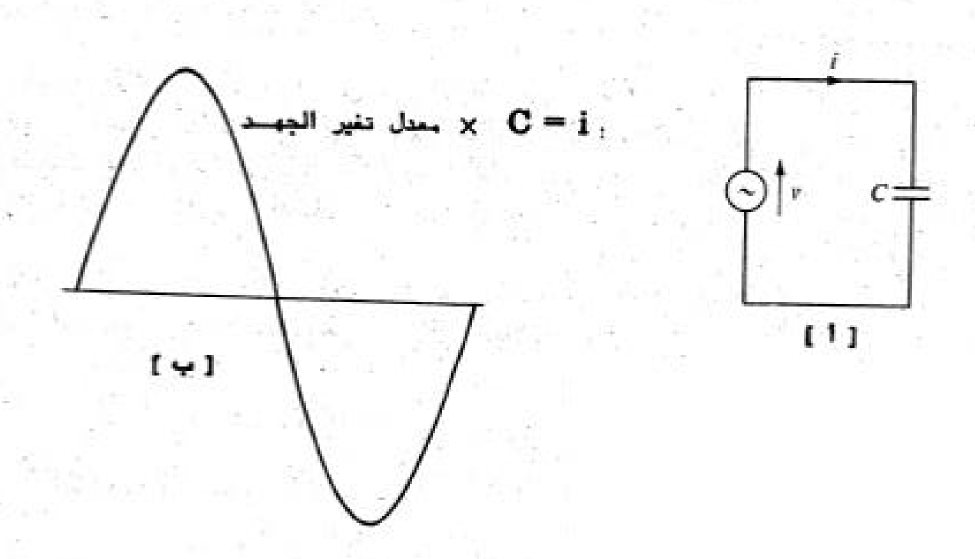
عند توصيل مكثف بمصدر جيبى متردد كما فى شكل ٦ ــ ٤ [أ] فاننا نجد ان التيار المار فى الدائرة يكون متقدما عن الجهد بزاوية مقدارها $90°$.

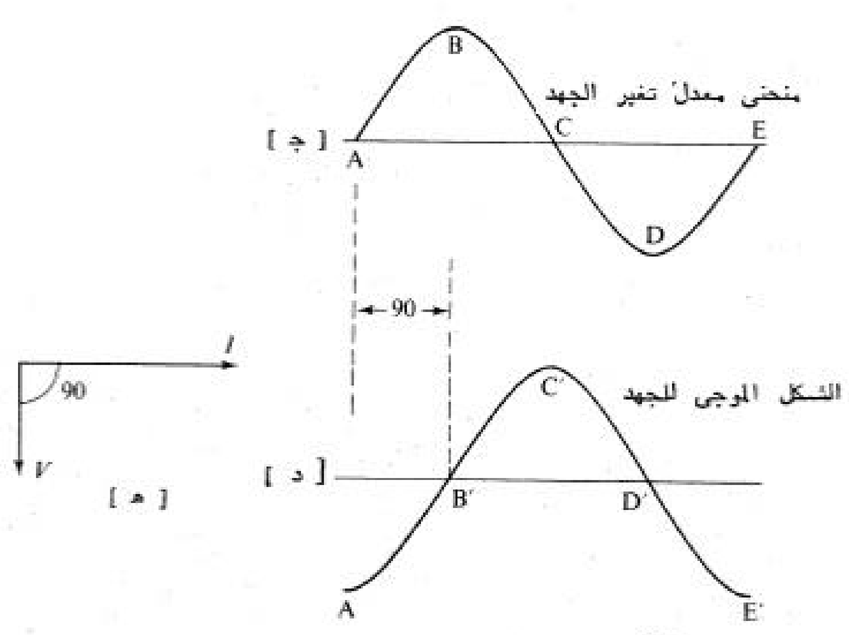
وكما سبق فى الفصل الثالث ، تعطى القيمة اللحظية للتيار المار فى المكثف بالمعادلة .

$i = C \times$ معدل تغير الجهد بين طرفى المكثف

حيث C فى المعادلة السابقة عبارة عن مجرد قيمة عددية ، وبالتالى فان الشكل الموجى للتيار [المنحنى B] ومعدل تغير الجهد [المنحنى C] يتماثلان .

يمكن استنتاج الشكل الموجى للجهد بين طرفى المكثف باستخدام تكنيك مماثل للذى استخدم فى حالة المحاثة. عند اللحظة A فى شكل ٦ ــ ٤ [ج] يساوى معدل تغير الفولت بين طرفى المكثف صفرا ويكون موجبا بين النقطتين A و C .





شكل ٦ — ٤ مكثف في دائرة تيار يتردد

بالتالى فان ميل منحنى الفولت عن اللحظة A يكون صفرا ويصبح موجبا بين النقطتين A و C أى أن ميول منحنى الجهد تكون متزايدة على يمين النقطة A وتصل للصفر عند النقطة B ويكون ميل منحنى الفولت سالبا بين النقطتين C و B أى أن الميل يتناقص بعد النقطة C ويكون صفرا عند النقطة D .

بمقارنة الاشكال الموجية لكل من التيار [ب] والفولت [د] . نجد انه **فى دوائر التيار المتردد المحتوية على مكثف : يتقدم التيار المار فى المكثف عن الجهد بين طرفيه بزاوية مقدارها 90°** . ويوضح شكل ٦ — ٤ [هـ] بيان العلاقة بين كل من التيار والجهد والمناظر لهذه الدائرة .

وتتحدد قيمة التيار المار خلال المكثف بخاصية المكثف المعرونة بمفاعلة المكثف السعوية ويرمز لها بالرمز X_C حيث

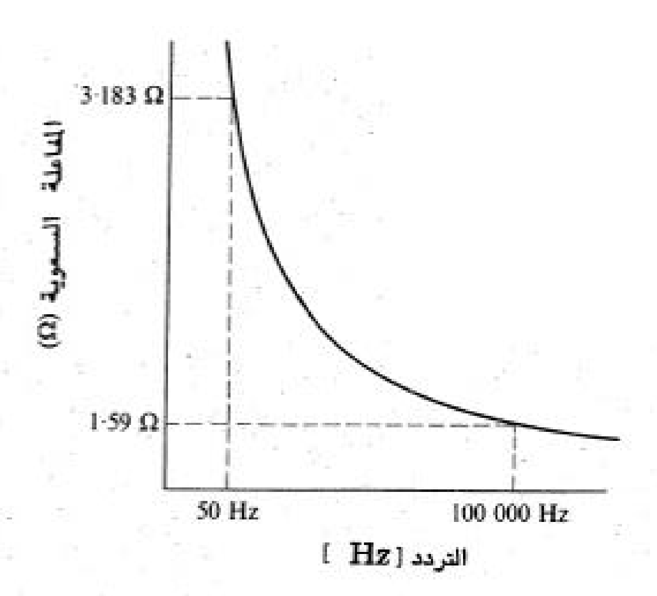
$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad \Omega (C \text{ in farads})$$

قيمة المفاعلة السعوية لمكثف سعته 1 μF عند تردد قدره **50 Hz** هى

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1 \times 10^{-6}} = 3183\,\Omega$$

وقيمة المفاعلة السعوية عند تردد قدره **100 KHz** هى

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} = 1{\cdot}59\,\Omega$$

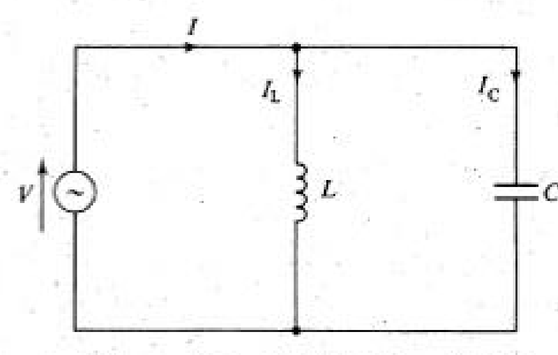


شكل ٦ ــ ٥ رسم يبين تغير مفاعلة السعة لمكثف سعته 1 μF مع التردد .

واضح أن المفاعلة السعوية تتناقص كلما ازداد التردد . يبين شكل ٦ ــ ٥ كيفية تغير مفاعلة المكثف مع التردد . وبالتالى فان قيمة التيار المسحوب بالمكثف عند التردد المنخفض تكون أقل من قيمته عند التردد المرتفع.

٦ ــ ٤ دوائر التوازى المكونة من LC

تستخدم دائرة التوازى المبينة فى شكل ٦ ــ ٦ المكونة من LC بكثرة فى النظم الالكترونية . فى هذه الدائرة التيار الكلى المسحوب من المصدر I

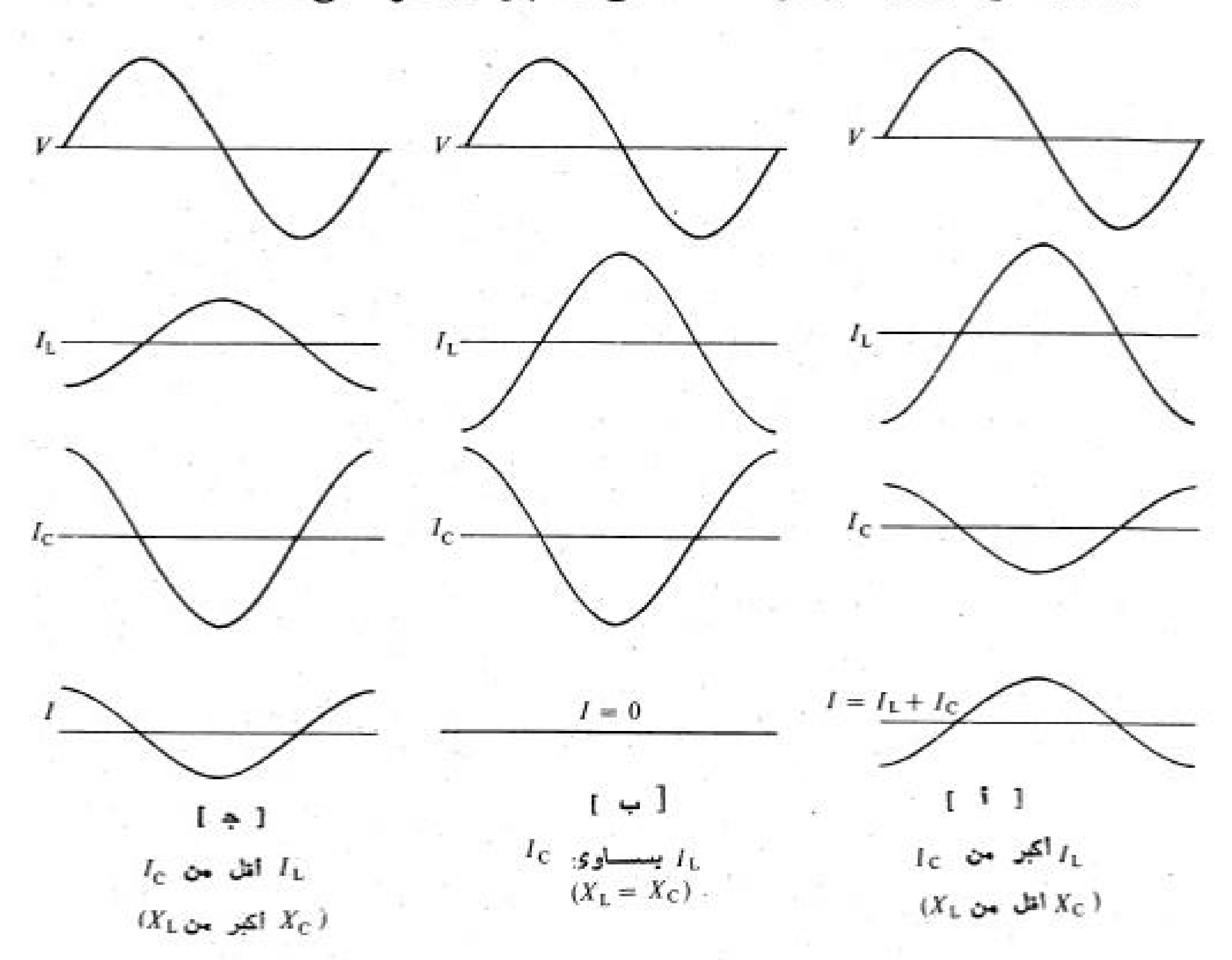


شكل ٦ ــ ٦ دائرة توازى مكونة من LC

يساوى مجموعى التيارين الفرعيين I_L و I_C . يوجد ثلاث حالات لطرق تشغيل هذه الدائرة هى :

[أ] I_L اكبر من I_C
[ب] I_L تساوى I_C [رنين توازى]
[جـ] I_L أقل من I_C

الاشكال الموجية لهذه الحالات الثلاث مبينة بشكل [٦ — ١] [أ] و [ب] و [ج] على الترتيب . والان ، سنأخذ في الاعتبار كل دائرة على حدة .



شكل ٦ — ٧ الاشكال الموجية لدائرة التوازى عند قيم مختلفة لكل من X_L و X_C

I_L أكبر من I_C شكل [٦ — ٧ [أ]في هذه الحالة ، تكون قيمة مفاعلة الحث X_L اقل من مفاعلة المكثف X_C كما وضح في الاجزاء السابقة ، يتخلف التيار I_L المار خلال الملف عن الجهد المسلط طرفيه بزاوية مقدارها 90° . بينما يتقدم التيار I_C المار خلال المكثف عن الجهد المسلط بين طرفيه بزاوية مقدارها 90° . بالتالي تضاد الاشكال الموجية لكل من I_L و I_C بعضها البعض [اختلاف الطور 180°] . ويساوى التيار I المسحوب بدائرة التوازى مجموع التيارين I_L و I_C وبالتالى نستطيع الحصول على الشكل الموجي للتيار I بجمع موجتى التيارين I_L و I_C عند زاوية طور مقدارها 0° ، فان قيمة التيار I_L تكون سالبة وكبيرة وقيمة التيار I_C تكون صغيرة وموجبة وبالتالى قيمة التيار I تكون سالبة واقل من I_L . عند زاوية مقدارها 90° تكون قيم كل من I_L و I_C صفرا وبالتالي تكون قيمة I صفرا . عند 180° ، تكون قيمة التيار I_L كبيرة وموجبة وتكون قيمة التيار I_C صغيرة وسالبة ونتيجة لذلك تكون

قيمة التيار I كبيرة وموجبة ولكن اقل من I_L . بمقارنة الشكل الموجى للتيار I بالشكل الموجى للتيار I_L نجد أن لكليهما نفس زاوية الوجه [الطور] وكلاهما متأخر عن جهد المصدر بزاوية قدرها 90° . ومن الواضح ان التيار المسحوب بالدائرة تحت هذه الظروف يتخلف عن جهد المصدر بزاوية قدرها 90° وتبدو دائرة التوازى للمصدر وكأنها ملف محاثة .

I_L **تساوى** I_C **شكل ٦ — ٧** [ب] . عندما تكون قيم I_L و I_C متساوية فان الاشكال الموجبة تلغى بعضها البعض ولا يمد المصدر اى تيار للدائرة . ومن اول وهلة ، يبدو هذا القول غير مستساغ ، حيث ان التيار لابد أن يمر فى كل من المكثف وملف المحاثة عند توصيل كل منهما لمصدر الجهد . وسيوضح هذا التناقض الظاهرى فيما يلى :

عندما تكون الدائرة فى حالة استقرار نجد أن المكثف يفرغ طاقته فى الوقت الذى يختزن ملف المحاثة طاقته والعكس بالعكس وبالتالى يحدث تبادل مستمر للطاقة أثناء عملية التبادل بالنسبة للدوائر التى لا تحتوى على اى مقاومة . وحيث انه لا توجد طاقة مفقودة فى مثل هذه الحالة ، فلا يمكن اذن سحب اى قدرة [أو تيار] من الدائرة الخارجية . وبالتالى فان دائرة التوازى المثالية والمكونة من LC عند الرنين تكافىء دائرة مفتوحة وفى بعض الاحيان توصف بانها دائرة ترشيح [رفض] حيث انها ترفض تيار المصدر عند الرنين .

اذا كانت قيمة كل من I_L و I_C متساوية عند تردد ما فى دائرة توازى معينة ، يعرف هذا التردد بتردد الرنين ويرمز له بالرمز f_0 . عند هذا التردد تكون قيمة X_L تساوى قيمة X_C بحيث أن

أو
$$X_L = X_C$$

حيث
$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

لذلك
$$4\pi^2 f_0^2 = 1/LC$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(LC)}}$$ [L بالهنرى و C بالفاراد]

وتصل دائرة التوازى المكونة من ملف محاثة مقداره 1mH ومكثف سعته 1mf لحالة الرنين عن تردد مقداره

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{[(1 \times 10^{-3}) \times (1 \times 10^{-9})]}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-12}}}$$
$$= 0{\cdot}159 \times 10^6 \text{ Hz or } 159 \text{ kHz}$$

ولا توجد دائرة الرنين المثالية السابقة ففى الحياة العملية حيث أن الملف والتوصيلة المصاحبة لدائرة التوازى لها مقاومات معينة ونتيجة لذلك توجد طاقة مفقودة فى الدائرة اثناء تبادل الطاقة بين L و C . وتوهب هذه الطاقة المفقودة لدائرة التوازى فى صورة تيار متردد . يكون فى العادة صغير القيمة . وللاستدلال على قيمته فى دائرة ما يستعان برقم الاستحقاق للدائرة والذى يعرف بالعامل Q او عامل الجودة .

يجب أن تكون فيه معامل الجودة Q اكبر ما يمكن وهو يعطى النسبة بين التيار المسحوب من المصدر الى التيار الدائر داخل دائرة التوازى فى حالة الرنين .

$$\frac{I_C}{I} = \frac{I_L}{I} = Q \text{ المعامل}$$

تتراوح قيمة معامل الجودة Q للدوائر الرنانة عند الترددات اللاسلكية بين 50 الى 250 وتعتبر الدوائر التى معامل جودتها حوالى 150 ؛ مرتفعة الجودة . ويصعب الحصول على معامل الجودة اكبر من 50 فى الترددات السمعية . لكى يكون معامل جودة مرتفع فى الدائرة لابد ان تكون نسبة محاثة الملف الى المكثف [النسبة L/C] كبيرة القيمة .

وتستعمل دوائر التوازى المحتوية على LC بكثرة فى مكبرات الموالفة التى ستعرض فى الباب ١١ وتستعمل ايضا فى بعض المذبذبات .

I_L أقل من I_C شكل ٦ — ٧ [جـ] . فى هذه الحالة يكون التيار المار فى فرع المكثف اكبر من التيار المار فى فرع ملف المحاثة . والنتيجة النهائية هى ان الدائرة تسحب تيارا متغيرا عن مصدر الجهد بزاوية مقدارها $90°$.

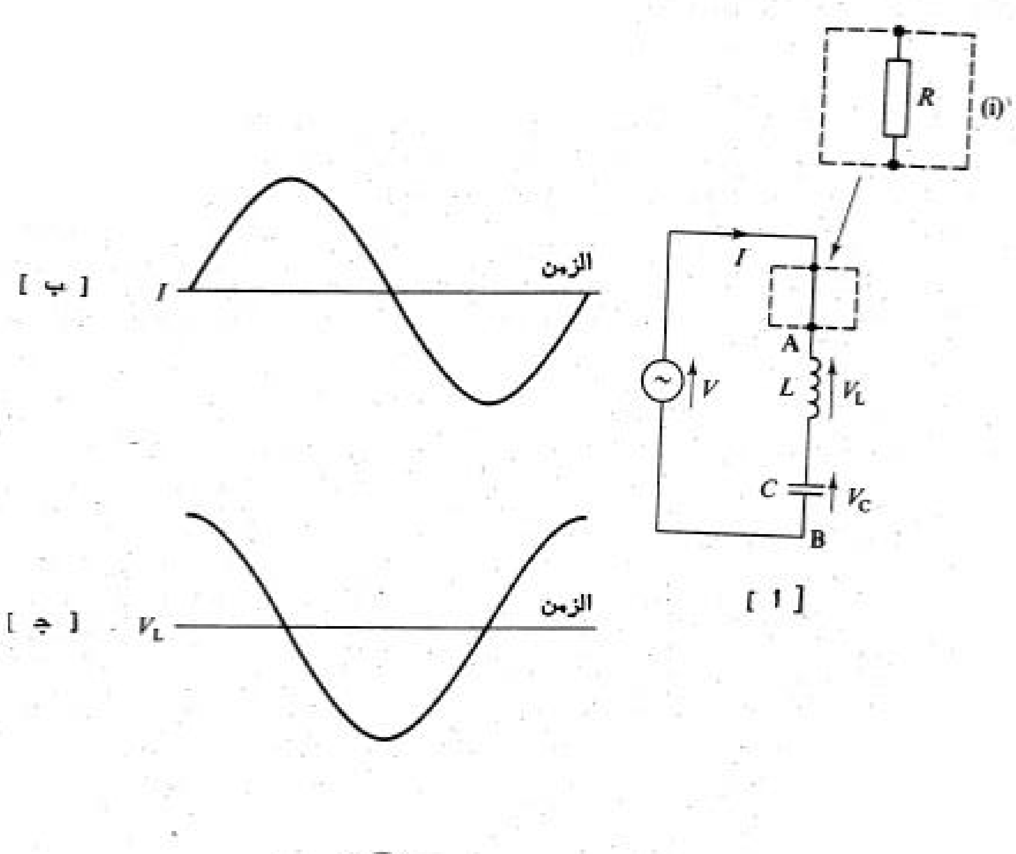
٦ — ٥ دائرة الرنين المتصلة على التوالى

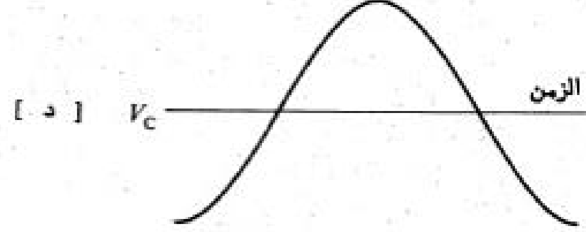
يحدث الرنين فى دائرة التوالى بطريقة متشابهة للتى تحدث فى دائرة التوازى . بمعنى آخر أن الدائرة تكون رنانة عندما تكون قيمة مفاعلة الحث مساوية لمفاعلة المكثف اى ان $X_L = X_C$. وبالتالى فان تردد الرنين لكل من دائرة التوالى والتوازى يكون

$$f_0 = 1/[2\pi\sqrt{(LC)}] \text{ Hz}$$

كما ورد سابقا ، فان تردد الرنين لدائرة توالى تحتوى على ملف ذى محاثة مقدارها 1 mH ومكثف سعته 1 M F هى 159 k Hz .

يوضح شكل ٦ — ٨ [أ] دائرة رنين متصلة على التوالى ولا تحتوى اى مقاومات مع الاشكال الموجبة المصاحبة لها من [ب] الى [هـ] فاذا ما كانت مكونات الدائرة مثالية



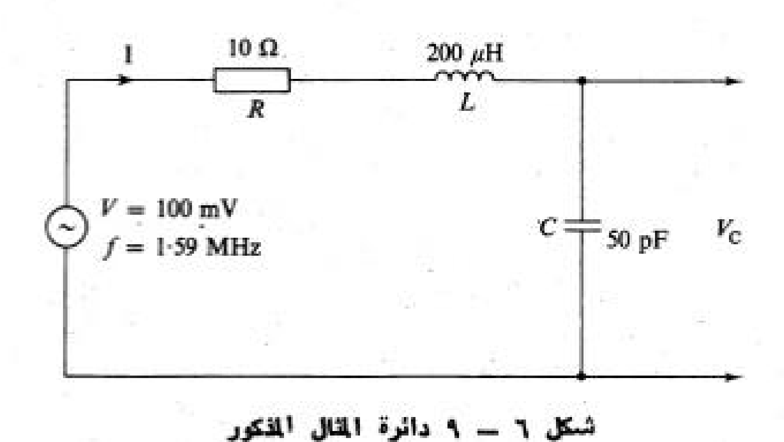


شكل ٦ ــ ٨ دائرة الرنين المتوالية LC

فان الجهــــد بين طرفى الملف V_L يتقدم التيار المار بزاوية قدرها °90 بينما يتخلف الجهد بين طرفى المكثف V_C عن التيار المار بزاوية مقــدارها °90 تتساوى مفاعلة كل من الملف والمكثف عند حالة الرنين ويمر بكل منهما نفس التيار . وبناء عليه ، يتساوى الجهد بين طرفى كل من ملف المحـــاثة والمكثف ويضاد كل منهما الاخر . [أنظر الاشكال جـ ، د] ونحصل على فرق الجهد الكلى بين طرفى الدائرة بجمع الشكلين الموجبين للجهدين V_L و V_C كما هو موضح بالشكل ٦ ــ ٨ [هـ] . وبمعنى آخر يصبح فرق الجهد بين النقطتين A و B فى شـــكل ٦ ــ ٨ [أ] فى حـــالة الرنين .

مساويا للصفر . وهكذا فان دائرة L C على التوالى ، المثالية تكافىء دائرة فى حالة قصر .

وخلاصة القول ، أن تيارا فى غاية الشدة يمر فى حالة الرنين . ومن الناحية العملية فالدائرة لها مقاومة ما مقدارها R يمكن السماح بادراجها فى الوضع (i) فى الدائرة بالشكل ٦ ــ ٨ [أ] وهذه المقاومة بالذات هى التى تحد من قيمة التيار المسحوب من المصدر لتصبح قيمته دائما V/R امبير فى حالة الرنين وتسمى دوائر الرنين ، المتصلة على التــوالى ، احيانا بالدائرة المتقبلة لانها تتقبل اكبر قيمة تيار ممكن من المصدر فى حالة الرنين .



شكل ٦ ــ ٩ دائرة المثال المذكور

فاذا اعتبرنا دائرة التوالى الموضحة بالشكل ٦ ــ ٩ . وتصبح الدائرة فى حالة رنين عند تردد قدره .

$$f_0 = 1/[2\pi\sqrt{(LC)}] = 1/[2\pi \times \sqrt{(200 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-12})}]$$
$$= 1/[2\pi \times \sqrt{10^{-14}}] = 1{\cdot}59 \times 10^6 \text{ Hz or } 1{\cdot}59 \text{ MHz}$$

عند هذا التردد

$$X_L = 2\pi f_0 L = 2\pi \times 1{\cdot}59 \times 10^6 \times 200 \times 10^{-6} = 2000\,\Omega$$

$$X_C = 1/2\pi f_0 C = 1/(2\pi \times 1{\cdot}59 \times 10^6 \times 50 \times 10^{-12}) = 2000\,\Omega$$

وفى حالة الرنين تحدد شدة التيار المار فى الدائرة بقيمة مقاومة الدائرة وحدها وتكون قيمته

$$I = V/R = 100 \times 10^{-3}/10 = 10 \times 10^{-3} \text{ A or } 10 \text{ mA}$$

ويصبح الجهد بين طرفى ملف المحاثة

$$V_L = IX_L = 10 \times 10^{-3} \times 2000 = 20 \text{ V}$$

ويكون الجهد بين طرفى المكثف

$$V_C = IX_C = 10 \times 10^{-3} \times 2000 = 20 \text{ V}$$

وحيث ان قيمة جهد المصدر تبلغ 0.1V فقط ، فاننا نرى أن الجهد بين طرفى كل من الملف والمكثف L و C فى حالة الرنين ، اكبر من جهد المصدر بمعامل قدره 200 = 20/0.1 مرة ويبلغ الجهد بين طرفى كل من الملف والمكثف قيمة اقل بكثير من هذه القيمة .

ويعطى معامل الجودة Q لدائرة التوالى معلومات حول تكبير الجهد الناتج بالدائرة كالاتى :

$$\text{معامل الجودة } Q = \frac{\text{الجهد بين طرفى } L \text{ [أو } C \text{]}}{\text{جهد المصدر}} = \frac{1}{2\pi f_0 CR} = \frac{2\pi f_0 L}{R}$$

بتطبيق القيم الخاصة بالدائرة الموضحة فى شكل ٦ ــ ٨ نحصل على :

$$\text{عامل الجودة} = 2\pi f_0 L/R = 2000/10 = 200$$

٦ ــ ٦ مقارنة بين رنين دوائر التوازى ورنين دوائر التوالى

يوضح الجدول التالى الخصائص الرئيسية والاختلافات الجوهرية بين نوعى دوائر الرنين .

	رنين دوائر التوازى	رنين دوائر التوالى
المعاوقة لسريان التيار	كبيرة	قليلة
التيار المسحوب من المصدر	قليل	كبير
الاسم	رافض	متقبل
الكمية المكبرة بالدائرة	التيار	الجهد

٦ ــ ٧ معاوقة دوائر التيار المتردد

معاوقة الدائرة الكهربائية ماهى الا المحصلة النهائية لما يعترض سريان التيار ويرمز لها بالرمز Z . لذلك

$$Z = \frac{V}{I} \ \Omega$$

حيث V هى الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لمربع الجهد المسلط بين طرفى الدائرة و I الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لمربع التيار وتكون Z

معاوقة الدائرة نتيجة لتأثير كل من المقـــاومة ومفاعلة الحث والمفاعلة السعوية . وفى حالة دائرة متصلة على التوالى تعطى المعاوقة بالمعادلة :

$$Z = \sqrt{[R^2 + (X_L - X_C)^2]}$$

كمثال ، اذا اتخذت دائرة متصلة على التوالى القيم

$V = 20\ \text{mV}$ و $R = 50\ \Omega$ ، $X_C = 200\ \Omega$ ، $X_L = 1000\ \Omega$

فان

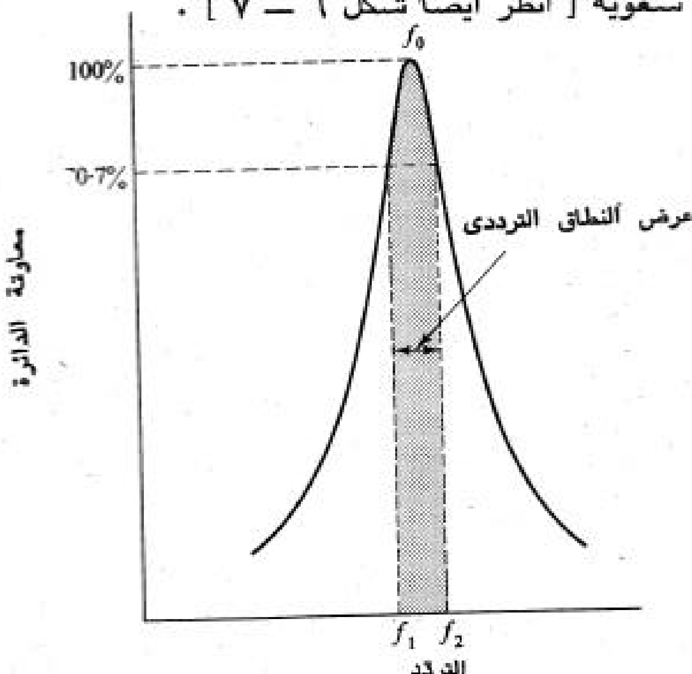
$$Z = \sqrt{[50^2 + (1000 - 200)^2]} = 802\ \Omega$$

و $I = V/Z = 20 \times 10^{-3}/802 = 0{\cdot}025 \times 10^{-3}\ \text{A} = 0{\cdot}025\ \text{mA or } 25\ \mu\text{A}$

٦ ــ ٨ عرض النطاق الترددى لدائرة رنين

يوصف عرض النطاق الترددى لدائرة رنين كنطاق او مدى الترددات الذى يمكن ان تستجيب له الدائرة .

يبين شكل [٦ ــ ١٠] تغير معاوقة دائرة التوازى مع التردد . عند تردد اقل فى القيمة من تردد الرنين ، تكون مفاعلة الدائرة عبارة عن مفاعلة حثية [انظر ايضـــا شكل ٦ ــ ٧] . وكلما ازداد التردد ازدادت قيمـــة المعاوقة ايضا حتى تصل الى اكبر قيمة لها عند تردد الرنين f_0 . عنـــد هذا التردد يكون سلوك الدائرة كما لو انها مقاومة بحتة . وعند ازدياد تردد المصدر اكثر من ذلك تنخفض قيمة المعاوقة ويصبح سلوك الدائرة كمـــا لو انها سعوية [أنظر ايضا شكل ٦ ــ ٧] .



شكل ٦ ــ ١٠ منحنى الاستجابة لدائرة توازى

عرض النطاق الترددى لدائرة توازى [انظر شكل ٦ — ١٠] هو نطاق الترددات التى تكون فيها معاوقة الدائرة اكبر من 70.7% من القيمة العظمى . ويمثل التردد f_1 فى شكل [٦ — ١٠] قيمة التردد المنخفض والتى يصبح عندها قيمة المعاوقة مساوية لـ 70.7% من قيمة المعاوقة فى حالة الرنين ، وتعرف بتردد القطع المنخفض ، ويمثل التردد f_2 قيمة تردد القطع المرتفع والتى تصبح عندها قيمة المعاوقة مساوية لـ 70.7% من قيمتها فى حالة الرنين .

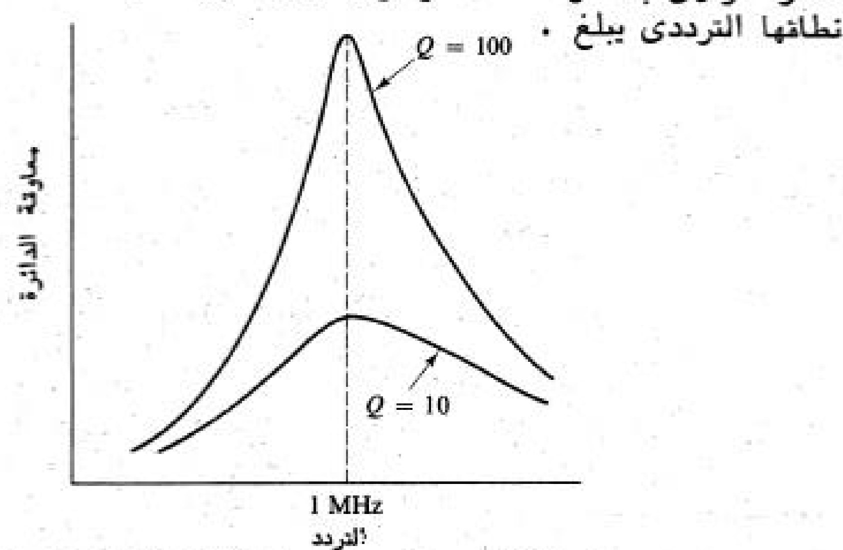
عرض النطاق الترددى B للدائرة هو

$$B = f_2 - f_1 \quad \text{Hz}$$

ويعطى عرض النطاق الترددى للدائرة ايضا بالعلاقة

$$B = \frac{f_0}{Q} \quad \text{Hz}$$

حيث Q هو معامل الجودة لدائرة التوازى . اذا ما بلغ تردد الرنين لدائرة توازى بمقدار 1 MHz وكان معامل الجودة لها 100 فان عرض نطاقها الترددى يبلغ .



شكل ٦ — ١١ بيان العلاقة بين الجهد والتيار لدائرة ترددية من وجه واحد

الحصول على احسن انتقاء من دائرة ذات معامل جودة مرتفع

تكون ترددات القطع المنخفضة والمرتفعة فى هذه الحالة حوالى 9.95 kHz و 10.05 kHz على الترتيب وبالنسبة لدائرة رنين توازى لها نفس تردد الرنين السابق ولكن قيمة معامل الجودة لها هو 10 يكون عرض النطاق الترددى لها هو 1000 000/10 = 100 000 Hz او 100 kHz . ويوضح شكل ٦ — ١١ منحنيات استجابة التردد لهاتين الدائرتين ، حيث نحصل على احسن انتقاء من الدائرة ذات معامل الجودة المرتفع .

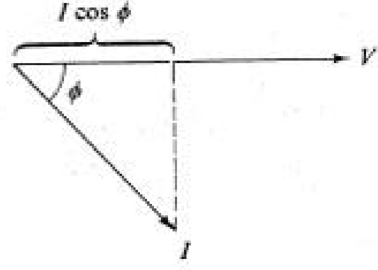
٦ ــ ٩ القــدرة المستهلكة فى دائـــرة تيـار مــتردد

فى دائرة ترددية من وجه واحد ، يوضح الشكل ٦ ــ ١٢ بيان العــلاقة بين الجهد والتيار ، حيث تفصل بينهما زاوية طور Q . وتعطى القــدرة المستهلكة فى الدائرة بالعلاقة .

القدرة = P = الفولت × مركبة التيار المتطاورة الفولت

$= V \times I \cos \phi$

حيث ϕ هو جيب تمام الزاوية التى بين V و I



شكل ٦ ــ ١٢ . بيان العلاقة بين الجهد والتيار لدائرة ترددية ذات طور واحد

ويبين الجدول ١ ــ ٦ تأثير قيمة زاوية الطور على القدرة المستهلكة فى الدائرة والتى تسحب تيارا قدره 5A من مصدر جهد 240 V .

جدول ١ ــ ٦ تأثير زاوية الطور على القدرة المستهلكة

زاوية الطور ϕ	$\cos \phi$	الطاقة المستهلكة $VI \cos \phi$ وات $= 240 \times 5 \times \cos \phi = 1200 \cos \phi$
0°	1·0	1200
30°	0·866	1039
60°	0·5	600
90°	0	0

يوضح الجدول أن القدرة المستهلكة تقل تدريجيا كلمــا ازدادت زاوية الطور [زاوية الطور يمكن فى الحقيقة أن تكون متقدمة أو متخلفة] من صفر الى 90° ولا توجد قدرة مستهلكة عندما تكون زاوية الطور 90° .

وتعرف القيمة $\cos \phi$ بمعامل القدرة للدائرة وتعطى بالمعادلة

$$\text{معامل القدرة} = \cos \phi = \frac{\text{القدرة المستهلكة بالوات}}{\text{الفولت ــ أمبير المستهلكة}}$$

ويوصف استهلاك الفولت ــ أمبير (VA) في الدائرة دائما باستهلاك القدرة الظاهرة . وتمثل وحدات الوات المستهلكة القدرة الحقيقية او القدرة الفعالة المستهلكة . وتعنى القيمة المرتفعة لمعامل القدرة أن جزءا كبيرا من استهلاك الــ VA ، قد تم الانتفاع به فى الدائرة .

٦ ــ ١٠ الديســــــيبل

كسب الجهد هو رقم استحقاق مهم للمكبر الالكترونى وتبلغ القيمة العددية لكسب الجهد للمكبر داخل الصندوق الاسود بالشكل [٦ ــ ١٣] .

$$\text{كسب الجهد} = A_v = \frac{\text{قيمة جهد الخرج}}{\text{قيمة جهد الدخل}} = \frac{V_2}{V_1}$$

فاذا كانت قيمة V_1 هى 10 m V r.m.s وقيمة V_2 هى 1 V r.m.s، اذن قيمة كسب الجهد هى

$$A_v = V_2/V_1 = 1/10 \times 10^{-3} = 100$$



شكل ٦ ــ ١٣ رسم تخطيطى للمكبر

وفى تطبيقات الكترونية كثيرة، يعبر عن كسب الجهد فى شكل لوغاريتمى وتكون وحدته الديسيبل [سميت باسم بعد العالم (Alexander Graham Bell) ويرمز لها بوحــــدة الــ dB . يعبر عن كسب الجهـــــد للمكبر بنسبة لوغاريتمية كما يلى :

$$\text{كسب الجهد بالديسيبل} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} \text{ dB} = 20 \log_{10} A_v$$

حيث $\log_{10} A_v$ هـــو لوغاريتم للاساس 10 [اللوغاريتم الشائع] للقيمة A_v . فاذا بلغت القيمة العددية للكسب A_v مقــدار 100 فان كسب الجهد للمكبر بالديسيبل هو

$$20 \log_{10} 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$$

اما اذا كانت قيمة A_v هى الوحدة فان كسب الجهد اللوغاريتمى

$$20 \log_{10} 1 = 20 \times 0 = 0 \quad \text{dB}$$

اذن ، كسب الجهد الذى قيمته صفر يعني انه لا يوجد تغير فى مستوى الجهد بين دخل وخرج المكبر [اى أن $V_1 = V_2$]

اذا كانت قيمة A_v اقل من الواحد [V_2 اقل من V_1] فيمكن حساب القيمة اللوغاريتمية لكسب الفولت كالاتى :

$$\text{كسب الجهد بالديسيبل} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{1}{V_2/V_1}\right)^{-1} = -20 \log_{10} \left(\frac{1}{V_2/V_1}\right)$$

كمثال . اذا كان $V_2 = 0{\cdot}02$ V و $V_1 = 0{\cdot}2$ V فان $V_2/V_1 = 0{\cdot}02/0{\cdot}2 = 0{\cdot}1$

وتأخذ القيمة اللوغاريتمية لكسب الفولت القيمة التالية :

$$-20 \log_{10} \frac{1}{0{\cdot}1} = -20 \log_{10} 10 = -20 \times 1 = -20 \text{ dB}$$

وتقل قيمة كسب الجهد الحدية عن الوحدة لانواع معينة من المكبرات مثل دوائر تابع الجهد كما سيوضح فى الفصلين الثالث عشر والرابع عشر. وهناك بعض الانواع الاخرى من الدوائر ، مثل خطوط الارسال وشبكات اضمحلال الفولت [تعرف بالموهنات] يكون كسب الجهد لها ايضا اقل من الواحد .

وتعطى الاشارة الحسابية التى تصاحب القيمة اللوغاريتمية لكسب الجهد المعلومات الاتية ،

اشارة موجبة : القيمة العددية لكسب الجهــد تكون اكبر من الواحد

اشارة سالبة : القيمة العددية لكسب الجهــد تكون اقل من الواحد

اذا بلغت القيمة اللوغاريتمية لكسب الجهد صفرا فان القيمة العددية لكسب الجهد تكون واحدا .

الفصل السابع

المحولات

المحول هو نبيطة لتحويل القدرة المتغيرة أو المتقطعة ، عن طريق الحث الكهرومغناطيسي من مستوى معين لمستوى آخر ، سواء بالنسبة للجهد أو التيار . ولاشك ان القارىء على دراية باستخدام المحولات فى شبكات القوى الكهربائية وعلى مستويات عالية من الجهد والقدرة . وسنعرض فى هذا الكتاب بصفة مبدئية للمحولات المستخدمة فى التطبيقات الالكترونية والتى لها قدرة مقننة تتراوح ما بين الوات الواحد الى بضع وحدات من الوات .

٧ ــ ١ فكرة عمل المحول

يتكون المحول من عدد من الملفات الملفوفة على قلب مغناطيسى مشترك ، وتتواصل هذه الملفات عن طريق الفيض المغناطيسى التبادلى [المشترك] . وتعرف الملفات المتقارنة مغناطيسيا بهذه الطريقة ، بالتقارن التبادلى . ولكى يستحث الفيض المغناطيسى ق.د.ك فى الملف ، فلابد أن يكون الفيض متغيرا مع الزمن . واذا ما أحدث هذا الفيض المتغير بواسطة ملف آخر متقارن تبادليا مع الملف الاول فان المعادلة التى تربط ، قيمة الــ ق.د.ك التبادلية والمستحثة ، مع معدل تغير الفيض التبادلى هى :

$$e = N \times \text{معدل تغير الفيض المتواصل مع الملف}$$

$$= N\frac{d\Phi}{dt}$$

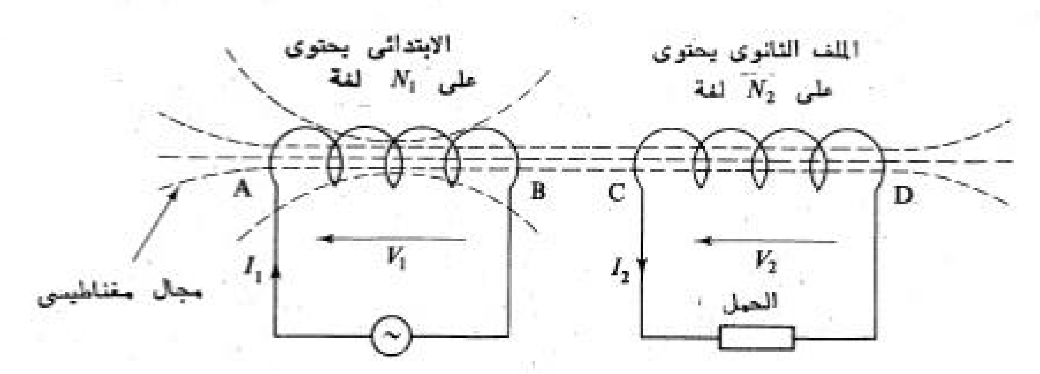
حيث N عدد لفات الملف المستحث بها الــ . ق.د.ك و Φ الفيض المغناطيسى المترابط مع الملف ، $d\Phi/dt$ هى الطريقة المختصرة للتعبير عن معدل تغير الفيض المتواصل .

فاذا تغير الفيض المغناطيسى المصاحب لملف عدد لفاته 1000 لفة بمعدل 0.04 ويبر لكل ثانية ، فان قيمة الــ . ق.د.ك التبادلية المستحثة بالملف هى :

$$e = 1000 \times 0{\cdot}04 = 40 \text{ V}$$

فاذا كانت قيمة الفيض المتواصل مع الملف لها قيمة ثابتة ، اى انها لا تتغير ، فان قيمة الجهد التبادلى المستحث فى الملف تصبح صفرا .

ويوضح شكل ٧ ـــ ١ محول ذو ملفين ، ملف ابتدائى موصل بمصدر القدرة او مصدر اشارة الدخل .



شكل ٧ ـــ ١ اساس المحول

[تذكر اننا نتعامل فى علم الالكترونيات مع مستويات من القدرة فى حدود الميلى وات فقط] ، هذا ويوصل الحمل بالملف الثانوى . ولكى يمكن نقل القدرة بين الملفين ، فلابد ان يتغير الفيض المغناطيسى بطريقة او اخرى وبصفة مستمرة حتى تستحث ق.د.ك فى الملف الثانوى . ولا يستلزم الامر ان يكون ، الشكل الموجى للجهد المسلط على الملف الابتدائى جيبيا [ونادرا ما يكون جيبيا فى الدوائر الالكترونية] ولكن من الانسب فى شرحنا أن نفترض موجة جيبية .

عند تسليط جهد جيبى على ملفات المحول الابتدائى ، نجد ان الشكل الموجى للجهد المستحث فى الملف الثانوى يتبع نفس الشكل الجيبى . ويعتمد بيان العلاقة بين جهدى الملف الابتدائى والثانوى على تركيب وتوصيلات الملف . فمثلا ، من الممكن ان تكون ق.د.ك للملف الثانوى ، بين النقطتين C و D شكل ٧ ـــ ١ ، فى نفس او عكس اتجاه جهد الملف الابتدائى بين النقطتين A و B وكثيرا ما يستخدم المحول كنبيطة عازلة بين دائرتين فى الدوائر الالكترونية ، عندما تكون زاوية الطور بين الجهدين ليست ذات اهمية . وفى حالات اخرى مثل حالة التغذية المرتدة والمذبذبات [انظر الفصل ١٣] ، تكون معرفة زاوية الطور بين الجهدين الابتدائى والثانوى ذات اهمية بالغة .

عند شرح عمل المحولات فانه توجد ارقام استحقاق ذات اهمية مثل النسبة بين عدد اللفات والنسبة بين الجهدين كما ستناقش فيما يلى :

نسبة اللفات : ان القاعدة الرئيسية لفكرة عمل المحول النموذجى هى انه عند توصيل الملف الثانوى للحمل ، فا نكلا من الملفات الابتدائية والثانوية تعطى نفس العدد من الامبير ـــ لفة . لذلك

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad \text{امبير ـــ لفة}$$

حيث N_1 و N_2 عدد لفات الملف الابتدائى والثانوى على الترتيب و I_1 و I_2 قيم الجذر التربيعى لمربع القيم المتوسطة للتيارات . ومن الناحية العملية يجب أن يكون الامبير — لفة للملف الابتدائى اكثر من الامبير — لفة للملف الثانوى لانه يحمل التيار المغنط للمحول بالاضافة الى مد الطاقة التى يستهلكها الملف الثانوى .

نسبة لفات المحول هى نسبة عدد لفات الملف الثانوى الى عدد لفـات الملف الابتدائى .

$$\text{نسبة اللفات} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} \qquad (\text{٧ — ١})$$

اذا كانت نسبة اللفات اقل من الواحد يعرف المحول بمحول خفض الجهد أما اذا كانت نسبة اللفات اكبر من الواحد ، فيعرف المحول بمحول رفـع الجهـد .

نسبة الجهد : المحول النموذجى لا يسرب اى طاقة وتكون كفاءته ١٠٠٪ وفى هذه الحالة تساوى الطاقة المعطاة بالملف الابتدائى ما يستهلكه الحمل من طاقة .- اى ان

$$V_1 I_1 \cos\phi_1 = V_2 I_2 \cos\phi_2$$

مرة اخرى ، بالنسبة للمحول النموذجى ، ويكون

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

أو

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \qquad (\text{٧ — ٢})$$

ومن ضمن مواصفات محول القوى الكهربائية ، هناك خاصية تتضمن كتابة القدرة التقديرية [المقننة] له بالامبير فولتوليس بالوات. وهذهالطريقة لتوصيف القدرة التقديرية تضع حدا اعلى لقيمة التيار الذى يمكن سحبه من المحول بغض النظر عن معامل قدرة الحمل . وهكذا ، فان المحول المقتن **10 VA** وقيمة الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لمربع الجهـد الثانوى **o V r.m.s** يمكن ان تعطى اكبر تيار مقداره **1 A** عند اى معامل قدره .

المعادلة العامة للمحـول : بربط المعادلات [٧ — ١ و ٧ — ٢] ينتج

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \qquad (\text{٧ — ٣})$$

من المعادلة السابقة يمكن استنتاج

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

اى ان عدد وحدات الفولت لكل لفة ، تتساوى للملفين الابتدائى والثانوى وحتى اذا احتوى المحول على بضع لفات ثانوية ، فان العلاقة السابقة تعتبر صحيحة ، حيث ان عدد وحدات الفولت لكل لفة هو رقم ثابت لـكل من الملفين .

مثال ٧ — ١ : محول جهد يستخدم مع عدد من المعدات الالكترونية ، **يعمل** عند **350 V r.m.s** فاذا كان جهد الملف الثانوى مقداره **350 V r.m.s**

وكان عدد لفات الملف الابتدائى ٢٠٠ لفة ، احسب عدد لفات الملف الثانوى

الحل باستخدام المعادلة [٧ — ٣] ، نجد أن

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

او

$$\frac{N_2}{200} = \frac{350}{250}$$

لذلك

لفة

$$N_2 = \frac{350}{250} \times 200 = 280$$

لاحظ ان للمحول نسبة رفع قيمتها $350/250 = 1{\cdot}4$

مثال ٧ — ٢ : اذا اعطى المحول المذكور فى المثال [٧ — ١] تيارا ثانويا قيمته **100 mA** .

احسب قيمة التيار الابتدائى مع اهمال القدرة المفقودة فى المحول .

الحل : مرة اخرى ، باستخدام المعادلة [٧ — ٣]

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

او

$$\frac{350}{250} = \frac{I_1}{100}$$

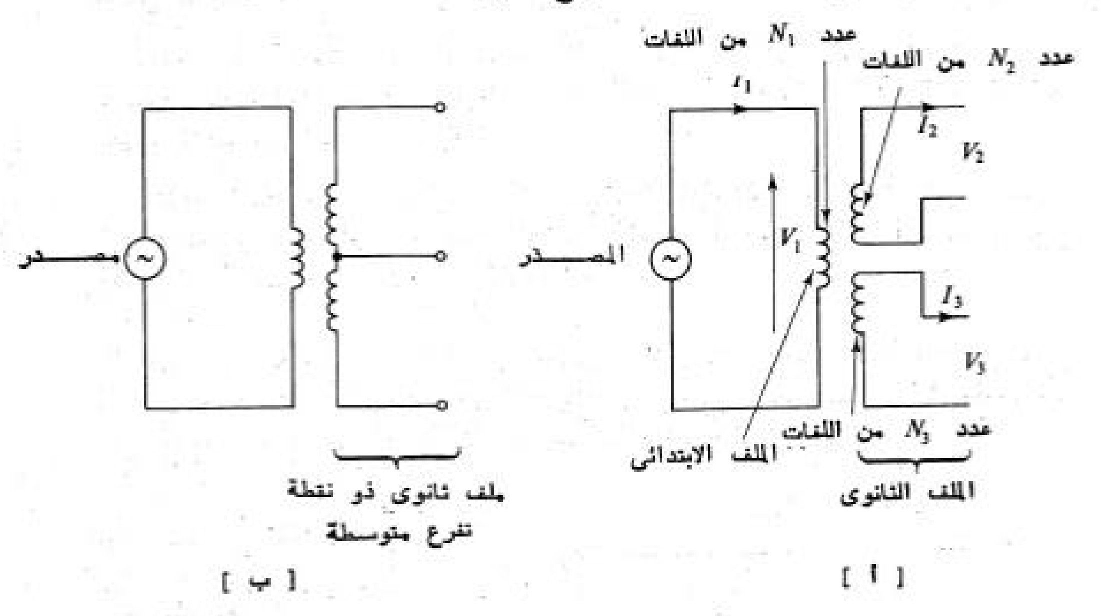
بتبديل موضع المعادلة لايجاد

$$I_1 = 100 \times \frac{350}{250} = 140 \text{ mA}$$

ولنلاحظ انه بينما يكون للمحول نسبة رفع للجهد ، فان له نسبة خفض للتيار من 140 mA الى 100 mA . وفى الحقيقة . فان قيمة التيار الابتدائى اكبر من القيمة المحسوبة حيث ان الملف الابتدائى يحمل ايضا التيار الممغنط .

٧ ــ ٢ المحولات متعددة اللفات والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة

تستلزم تطبيقات كثيرة فى الالكترونيات ، استخدام المحولات متعددة اللفات ، والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة .



شكل ٧ ــ ٢ ــ [أ] محول متعدد اللفات [ب] محول نقطة تفرع متوسطة

يوضح شكل [٧ ــ ٢] الرسم التخطيطى لمحول ذى ملفين ثانويين . ويستخدم مثل هذا النوع من المحولات عندما تدعو الحاجة لمصدرين مختلفين للجهد ومنفصلين كهربائيا . ويمكن استخدامه ايضا مع مولد النبضات من النوع الذى سيوضح فى الفصل ١٣ والذى يستعمل لتشغيل الدوائر البوابية المكون من ثايرستورز او ترايك [تفصيلات هذا الجزء فى الفصل ١٥] . وحيث ان الملف الابتدائى يغذى جميع الملفات الثانوية فان تقنين الفولت ــ امبير للمحول يعطى بحاصل جمع تقنين الفولت ــ امبير لجميع الملفات الثانوية . اى ان

$$\text{تقنين الفولت ــ امبير (VA) للمحول} = V_1I_1 = V_2I_2 + V_3I_3$$

اذا كان حاصل ضرب الفولت ــ امبير المعطى بالملفات الثانوية هى 10 و 4.3 فولت أمبير على الترتيب ، فان تقنين الفولت ــ امبير للمحول [باهمال الفقد فى المحول] هو 14.3 VA . وعلاوة على ذلك ،

حيث ان عدد وحدات الفولت لكل لفة هو رقم ثابت بالنسبة لكل ملف ، فان

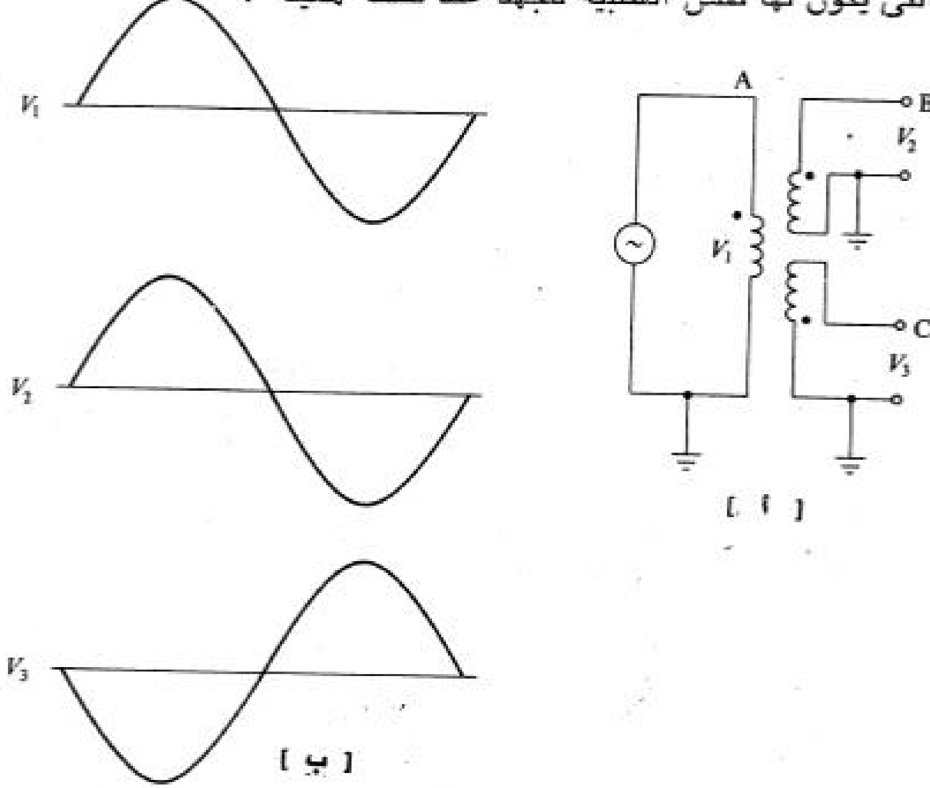
$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} = \frac{V_3}{N_3}$$

يستخدم الملف ذو نقطة التفرع المتوسطة ، شكل ٧ — ٢ [ب] ، بكثرة مع مصادر القدرة التى تغذى دوائر التوحيد [التقويم] [انظر الفصل ٨] كما تستخدم ايضا فى كثير من دوائر اللاسلكى والتليفزيون والتحكم الالى ، ودوائر الاتصال . ويتساوى جهد الملفين الثانويين فى معظم الحالات ، بحيث تتخذ نسبة اللفات ، بين الملف الابتدائى وكل من الملفين الثانويين ، نفس القيمة .

فاذا بلغت قيمة هذه النسبة مثلا 1.4 ، فان جهد المحول يوصف بنسبة (1.4+1.4) : 1 ويكون جهد الخرج له 350-0-350 V اذا كان جهده الابتدائى قيمته 250 V .

علامة النقطة للـ ق.د.ك المستحثة التبادلية : من المرغوب فيه ، ان نستطيع بيان العلاقة بين الجهود المستحثة فى ملفات المحول فوق الاشكال التخطيطية للدوائر الكهربائية .

ويوضح شكل ٧ — ٣ احدى الطرق التى تظهر هذه المعلومات وتعرف باسم علامة النقطة وفى هذه الطريقة ، توضح نقطة عند نهاية الملفات التى يكون لها نفس القطبية للجهد عند لحظة معينة .



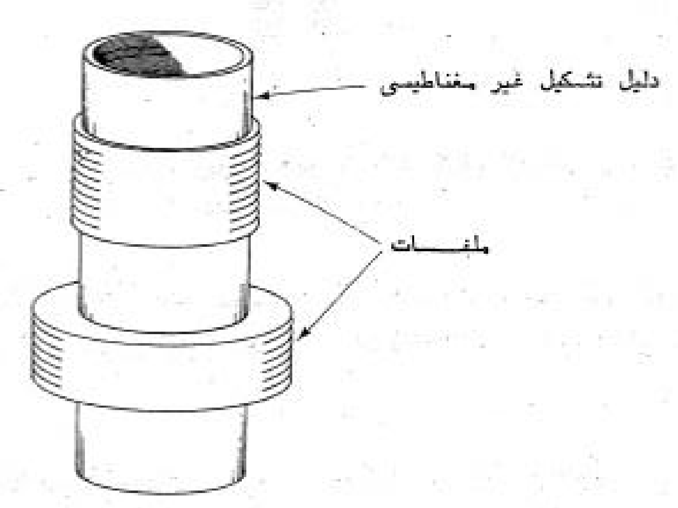
شكل ٧ — ٢ رمز النقطة للجهود المستحثة

فعندما تكون قطبية نهاية الملف الابتدائى شكل ٧ ــ ٣ [أ] ، المميزة بالنقطة ، موجبة عند لحظة معينة ، فان جميع نهايات الملفات الثانوية المميزة بالنقط ، تكون موجبة بالمثل عند نفس اللحظة . فاذا كان الطرف A فى لحظة معينة من الزمن موجبا بالنسبة الى الارض فان جهد الطرف B يكون موجبا بالمثل ، اما الطرف C فيكون سالبا وبمعنى آخر ، فان V_2 يتخذ نفس اتجاه V_1 بينما يتخذ V_3 عكس اتجاه V_1 .

٧ ــ ٣ أنـــواع المحـــولات

يمكن تصنيف المحولات المستخدمة فى الدوائر الالكترونية الى نوعين هما محولات القلب الهوائى ومحولات القلب الحديدى [يشمل النوع الاخير ايضا المحولات ذات قلوب فريتية] .

محولات القلب الهوائى : تلف الملفات فى هذا النوع من المحولات حول دليل تشكيل غير مغناطيسى . ويوضح شكل ٧ ــ ٤ واحدا من انـــواع المحولات الشائعة ذوات القلب الهوائى ويعمل على تردد اللاسلكى .

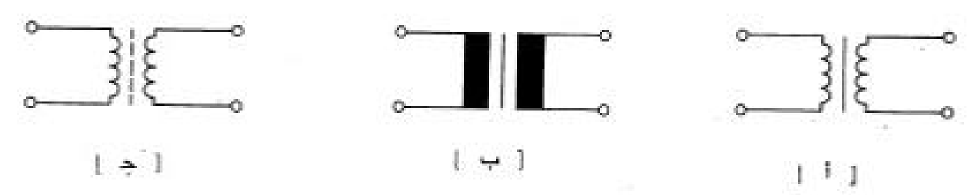


شكل ٧ ــ ٤ محول له قلب هوائى يعمل على تردد اللاسلكى

ولا تستعمل محولات القلب الهوائى كأنبطة لمحولات القدرة حيث تتسرب كمية كبيرة من المغناطيسية من بين الملفات ويتواصل مع الملف الثانوى ، قدر ضئيل جدا من الفيض المغناطيسى الناتج من الملف الابتدائى . ومـــع ذلك تستخدم هذه المحولات بكثرة فى دوائر المواالفة بمعــــدات الراديو والتليفزيون واجهزة الاتصالات . وتعطى هذه المحولات درجة انتقاء عالية بحد عرض معين من النطاق الترددى .

محولات القلب الحديدى : وتنقسم هذه المجموعة فى علم الالكترونيات الى ثلاثة اقسام فرعية هى محولات مصدر القدرة ومحولات التردد السمعى والمحولات النبضية .

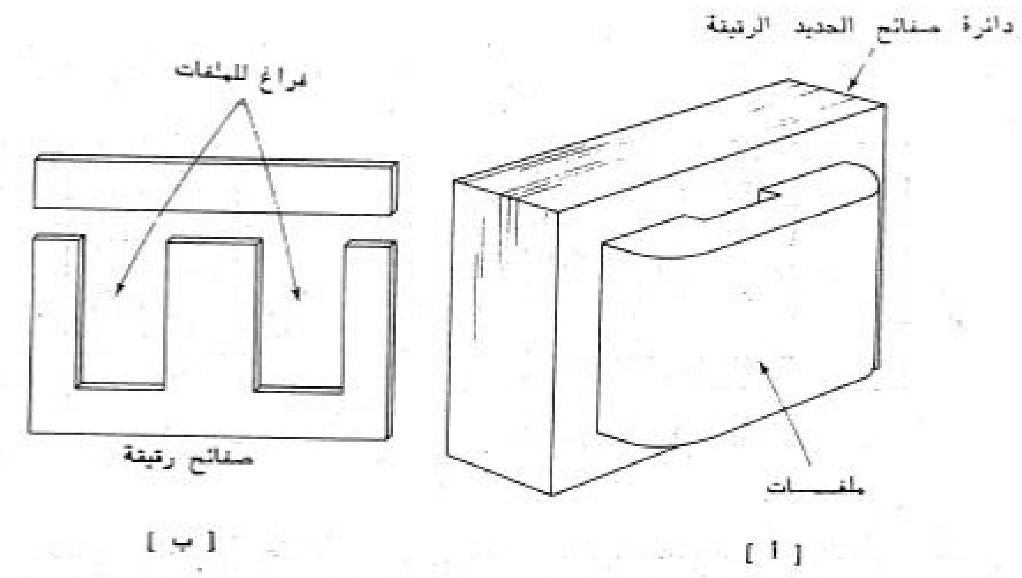
وتكون لمحولات مصدر القدرة قلوب حديدية تبرد بالهواء ويصل تقنينها الى حوالى 1000 VA عند تردد المصدر . ويوضح شكل [٧ — ٥] الرموز المستخدمة لدوائر محولات القلب الحديدى والقلب الفريتى . ويكون لهذه المحولات فى بعض الاحيان ملف ثانوى ذو نقطة تفرع متوسطة مع ملفات ثانوية اخرى لبعض استعمالات مصادر القدرة المساعدة . وفى بعض المنشآت يتحتم عزل النظم الالكترونية عزلا كهربائيا تاما عن المصدر الاساسى وذلك لدواعى الامن ، وكمثال ، منضدة للاختبار فى ورشة تصليح التليفزيون . ويرتفع تقنين المحول ، فى هذه الحالة ، ليصل الى ما يعادل 500 او 1000 فولت — امبير . وفى بعض الحالات ، يمكن أن تحتوى الملفات الثانوية على ملفين منفصلين ذى نقطتى التفرع المتوسطتين بحيث يعطى منهما جهدا قيمته 60 — 0 — 60 فولت مثلا . ويمكن أن يستخدم كل ملف بعدئذ للحصول على مصادر متنوعة



شكل ٧ — ٥ [أ] و [ب] رموز مختلفة لمحولات القلب الحديدى و [ج] رمز دائرة المحول ذى القلب الفريتى

مثل 60 V ، 60-0-60 فولت و 120 فولت ؛ فاذا تم ايصالهما على التوالى يمكن ان نحصل على مصدر 120-0-120 فولت او مصدر جهد 240 فولت .

محولات التردد السمعى : هى محولات صغيرة يحتوى كل منها على قلب حديدى ومصممة لكى تعمل على مدى الترددات السمعية (15 Hz — 20 k Hz) وفى عديد من التطبيقات منها التقارن المرحلى بين المكبرات، وفى دوائر التغذية المرتدة. [انظر الفصل ١٣]. يقع تقنين الفولت أمبير لهذه الاجهزة ، ما بين عدد قليل من الملى وات فى حالة محولات التقارن المرحلى [الحجم النموذجى 15 mm × 15 × 20 او (0.8×0.6x0.6 in) الى 15 وات او اكثر فى حالة محولات الخرج فى احوال القدرة المرتفعة للتردد السمعى عند مرحلة الخرج . ولكى نستطيع المقارنة ، فان الحجم الطبيعى لمحول الخرج السمعى الذى قدرته 15 W تبلغ حوالى 80×70x50 mm (3.25×2.75×2 in) ويبين شكل ٧ — ٦ محول خرج شائع الاستعمال .



شكل ٧ ــ ٦ [أ] محول جهد من النوع ذو الدائرة المغناطيسية المحيطة [باللفائف]
[ب] شكل تخطيطى يوضح الصفائح الرقيقية على هينة E ، I

من الضرورى أن تحمل الملفات الابتدائية لعدد كبير من محولات التردد السمعى تيارا مستمرا بالاضافة الى مركبات التيار المتردد التى تعبر عن اشارة التيار . وفى العادة ، فان العامل الذى يحدد حجم القلب ، فى هذه الحالة ، هو قيمة التيار المستمر . ويمكن تقليل تأثير التيار المستمر فى حالات كثيرة باستخدام مكبرات متصلة بطريقة دفعى جذبى [انظر الفصل ١١] .

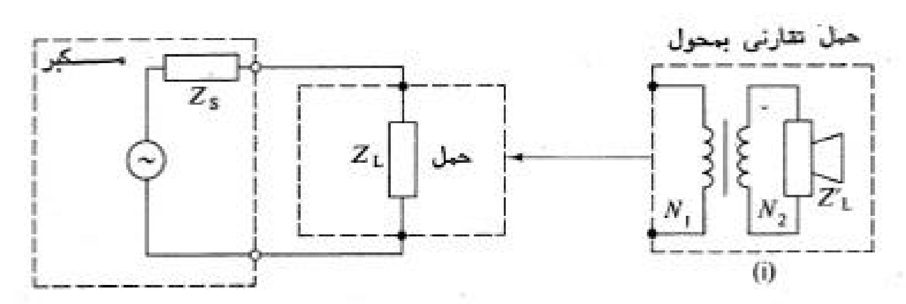
يستحسن ان يصمم المكبر ليعمل بدون المحولات حيث انها كبيرة الحجم وغالية الثمن كما انها تشوه الاشارة المارة خلال بعض المكبرات .

المحولات النبضية : وتصمم لترسل نبضات ضيقة جدا بدون تشويه عند ترددات فى مدى الميجاهرتز وتحوى بعض التطبيقات المعتادة للمحولات النبضية دوائر المذبذبات والمولدات النبضــية لاستعمالات الثايرســتور والترايك .

٧ ــ ٤ المحول كنبيطة لمواءمة المعاوقة

من الممكن اثبات ، انه لنقل اقصى قدرة ممكنة من المكبر الى الحمل ينبغى أن تتساوى معاوقة المكبر الداخلية [تعرف ايضا باسم معاوقة الخرج للمكبر] مع معاوقة الحمل نفسه [انظر كتاب الالكترونيات الصناعية لمزيد من التفصيلات Noel, M. Morris ، الناشر Mc. Graw, Hill

ويوضح شكل [٧ ــ ٧] ، الحالة العامة حيث تظهر المعاوقة الداخلية للمكبر Z_S ومعاوقة الحمل Z_L وتنقل اقصى قدرة ممكنة ، فى هذه الدائرة ، للحمل عندما تكون $Z_S = Z_L$.



شكل ٧ — ٧ اقصى قدرة يمكن ان تنتقل الى الحمل

يمكن فى حالة مكبرات الترانزستور للتردد السمعى ان يتصل حمل الجهاز مباشرة بطرفى المكبر كما هو موضح فى شكل ٧ — ٧ ، والسبب هو أنه يمكن اختيار مقاومة الخرج لمكبر الترانزستور التى تتوائم مع مقاومة المجاهير المتوفرة تجاريا . وان قيما مقدارها **3,7,15 Ω** لمعاوقات المجاهير لتعتبر قيما شائعة . وللحصول على اكبر قدرة يمكن انتقالها بين الصمام والجهاز ، فمن الضرورى ان يصل المجهار عن طريق محول الى مكبر حتى يمكن مواءمة معاوقة الحمل بمعاوقة الخرج للمكبر . وتقع هذه المعاوقة فى المدى ما بين $4\ k\Omega$ الى $16\ k\Omega$ [انظر مثال ٧ — ٣ ادناه] .

فاذا ما وصلت معاوقة Z'_L بين طرفى الملف الثانوى للمحول فان من الممكن اثبات [انظر المرجع السابق] أن المعاوقة الفعالة الظاهرة بين طرفى الملف الإبتدائى هى $(N_1/N_2)^2 Z'_L$. [كما هو مضمن فى (i) بالشكل ٧ — ٧ . لكى تنتقل اقصى قدرة لمعاوقة هذا الحمل فلابد أن

$$Z_S = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z'_L$$

ويتضح من المعادلة السابقة أن نسبة لفات المحول اللازمة لمد اقصى قدرة محمولة هى

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\left(\frac{Z_S}{Z'_L}\right)}$$

مثال ٧ — ٣ . تقارن مكبر للتردد السمعى ذى مقاومة خرج مقدارها $3{\cdot}4\ k\Omega$ مع مجهار مقاومة $15\ \Omega$ عن طريق محول . أوجد قيمة نسبة اللفات المثلى للمحول .

الحل . من المعادلات السابقة ، تكون النسبة المطلوبة هى

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\left(\frac{3400}{15}\right)} = 15:1$$

٧ ـ ٥ دوائــر المحـولات تحت الاحوال العــابرة

المحولات هي انبطة صلدة تتعامل مع الاحمال الزائدة سواء لمـــدة طويلة او لمدة قصيرة [عابرة] . ومع ذلك فقد يتسبب عن هذه الاجهزة نفسها زيادة عابرة ومفاجئة فى الجهد مما قد يؤدى الى تلف المعــدات الالكترونية .

ويحدث هذا التشويش العابر كنتيجة لعدد من العمليات تشمل وصــل او قطع دائرة المحول فعند لحظة غلق مفتاح المصدر لتغذية المحول بالقدرة يندفع تيار فى الملف الابتدائى قد يؤدى الى حدوث جهد مستحث عابر [شرارة] فى الدائرة الالكترونية ، من الممكن ان يتلف انبطة اشـــباه الموصلات . وعند فتح المفتاح الرئيسى ، يصل تيار الحمل لقيمة الصفر بطريقة مفاجئة من الممكن أن يتسببعنها جهد عابر مستحث ذو قيمة عالية.

وتعتبر مثل هذه الحالات من التشغيل مخاطرات معتادة بالنسبة للنظم الصناعية ، وتصميم الدوائر الالكترونية لتتكيف مع مثل هذه الانواع من المجالات العابرة . وفى بعض الحالات تؤخذ بعض التحويطات بتوصـــيل مقاومة تابعة للجهد عبر الخطوط الموصلة من مصدر القدرة ، لفرض الوقاية عندما تقل فرص احتمال حدوث شرارة كهربائية .

الفصل الثامن

وحدات دايود الجوامد

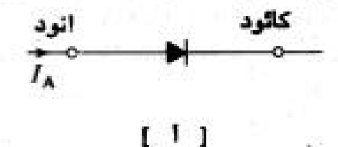
٨ ـ ١ خواص الدايود :

وحدة الدايود ، هى نبيطة كهربائية ذات طرفين تسمح بمرور التيار بسهولة فى اتجاه واحد وتمنع مرور التيار فى الاتجاه العكسى ويوضح شكل ٨ ـ ١ [أ] دائرة الدايود الاصطلاحية حيث يعرف شقا الدايود **بالانود والكاثود** على الترتيب .

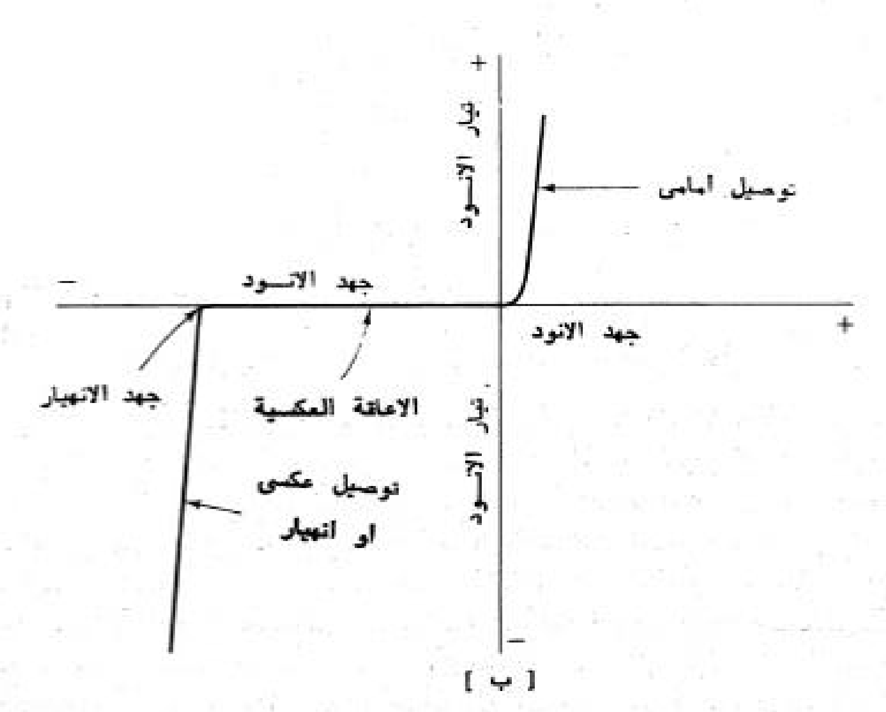
ويستمر مرور التيار خلال الدايود عندما يكون جهد شق الانود موجبا بالنسبة الى شق الكاثود . ولا يمر الا تيار تسرب صغير جدا خلال الدايود عندما يكون جهد الانود سالبا بالنسبة الى الكاثود . وهكذا يمكن اعتبار الدايود كمفتاح جهد حساس يصير موصلا او مغلقا (ON) عندما يكون الانود اعلى جهدا من الكاثود ، ويصير فاصلا او مفتاحا (OFF) عندما يكون جهد الانود سالبا بالنسبة للكاثود . ففى الحالة الاولى ، عندما يكون موصلا يقال ان الدايود **أمامى الانحياز** اما فى الحالة الثانية ، عندما يعوق مرور التيار ، فيقال أن الدايود **عكسى الانحياز** .

ومن الممكن اختبار الدايود باستعمال مقياس كهربائى متعدد القياسات بتوصيله بين طرفى قياس المقاومة . وفى هذه الحالة، يتصل القطب الموجب للبطارية الداخلية بطرف الجهاز السالب ، بينما يتصل القطب السالب منها بطرف الجهاز الموجب وتقاس مقاومة الانحياز العكسى للدايود بتوصيل الانود بطرف جهاز القياس الموجب ، وتوصيل الكاثود بالطرف السالب له . [ويلاحظ انه توجد دائما علامة بطريقة ما فوق كاثود الدايود وتكون عبارة عن نقطة حمراء فى بعض الاحيان .] وعند هذا الوضع ، يجب ان تكون قراءة جهاز القياس مالا نهاية . ومن الممكن قياس مقاومة الانحياز الامامى بعكس اطراف الدايود ، وتكون قراءة الجهاز عادة فى حالة الدايود السليم ، بضع مئات من وحدات الاوم . وتبلغ القيمة المألوفة للتيار الذى يمده جهاز القياس المتعدد القياسات، فى حالة الانحياز الامامى للدايود جزءا من الميلى امبير ، وليس من المحتمل أن تتلف مثل هذه القيمة أى دايود تحت الاختبار .

ومن المعلوم أن قيمة فرق الجهد بين طرفى مفتاح مثالى عند توصيلة تبلغ الصفر ، أما عند فتحه ، فان قيمة تيار التسرب تساوى الصفر . لكن دايود اشباه الموصلات لن يعمل كمفتاح مثالى ، حيث انه يوجد فرق للجهد بين الكاثود والانود فى حالة الانحياز الامامى [انظر شكل ٨ — ١ [ب]]. فعند هذه الحالة من الانحياز الامامى لمنوال التشغيل ، يصبح من المألوف لفرق الجهد بين طرفى الانود ، والذى يسمى **هبوط الجهد الامامى** ، ان



[أ]



[ب]

شكل ٨ — ١ [أ] رمز الدائرة الاصطلاحى للدايود [ب] خواص الدايود الكهربائية

يقع فى المدى ما بين 0.3 الى 0.8 فولت بالنسبة لدايود الجرمانيوم، وما بين 0.6 الى 2 فولت بالنسبة لدايود السليكون . وفى حالة الانحياز العكسى للدايود [اى أن الانود يكون سالبا بالنسبة الى الكاثود] يصبح تشغيل النبطية على المنوال العائق العكسى ، وعندئذ تبلغ قيمة تيار التسرب بين الانود والكاثود ما بين عدة وحدات من النانو امبير (lnA = 10 A)فى دايود التيار المنخفض الى عدة وحدات من الميلى أمبير (1 mA = 10 A) فى دايود القدرة ذى التيار المرتفع . وتكون قيم هذه التيارات عادة صغيرة جدا اذا تورنت بالقيم المتننة للتيار الامامى للدايود . فعند درجة حرارة محيطة معطاة ، تبقى قيمة تيار التسرب ثابتة بغض النظر عن قيمة الجهد حتى نصل الى قيمة معينة تعرف **بجهد الانهيار** [انظر شكل ٨— ١ [ب].

فعند هذا الجهد ، تزداد قيمة التيار العكسى بسرعة ، ويقال أن الدايود يعمل على **منوال الانهيار العكسى** وتزيد قيمة جهد الانهيار العكسى عادة عن 600 فولت فى حالة الدايود المستعمل فى تقويم القدرة ، وفى مثل هذه الحالة ، اذا ما مر تيار عكسى قيمته ، مثلا ، 0.1 امبير ، فسوف يؤدى الامر الى قدرة مبددة فى النبيطه اكثر من 60W = 600×0.1 . فاذا لم تبدد هذه القدرة للجو المحيط ، فان درجة حرارة النبيطة قد ترتفع الى الحد الذى تصبح به غير صالحة كمقوم . وقد تم تصميم انواع معينة من الدايود تعرف باسم **دايود زينار** [انظر جزء ٨ — ١٠] لتشغل على منوال الانهيار العكسى .

٨ — ٢ أنـواع الدايـود

تشمل الانواع الاساسية المستعملة للدايود

[ا] دايود اشباه الموصلات

[ب] دايود اكسيد النحاس

[ج] دايود السيلنيـوم

[د] صمامات الدايود الحرارية

[هـ] صمامات مملوءة بالغاز وصمامات مملوءة بالبخار

وفى الاعم ، فان اكثر الانواع شيوعا هو دايود اشباه الموصلات ويصنع عادة من السليكون او الجرمانيوم . وتستعمل المادة الاولى [السليكون] اكثر فى الاغراض العامة وفى تطبيقات القدرة المرتفعة ، بينما يكتسب الجرمانيوم بعض المميزات فى استخدامات الاتصالات الكهربائية . ويستعمل دايود أكسيد النحاس مع بعض اجهزة القياس الكهربائية وتستعمل بعض مقومات [موحدات] السيلينيوم فى استخدامات الجهد المنخفض والتيار المرتفع . وقد استخدمت منذ مدة صمامات الدايود الحرارية فى الصناعة وفى المعدات السمعية ولكن بطل استعمالها بدرجة كبيرة . وكانت النبائط المتلئة بالبخار مثل مقومات التجمع الزئبقى تستعمل بكثرة فى الصناعة ولكن الاتجاه السائد حاليا هو سرعة استبدالها بنبائط اشباه الموصلات . ويستمر استخدام نبائط التجمع الزئبقى فى التطبيقات الخاصة مثل اللحام بالقوس الكهربى .

٨ — ٣ وصلات أشباه الموصلات الثنائية (وحدات الدايود)

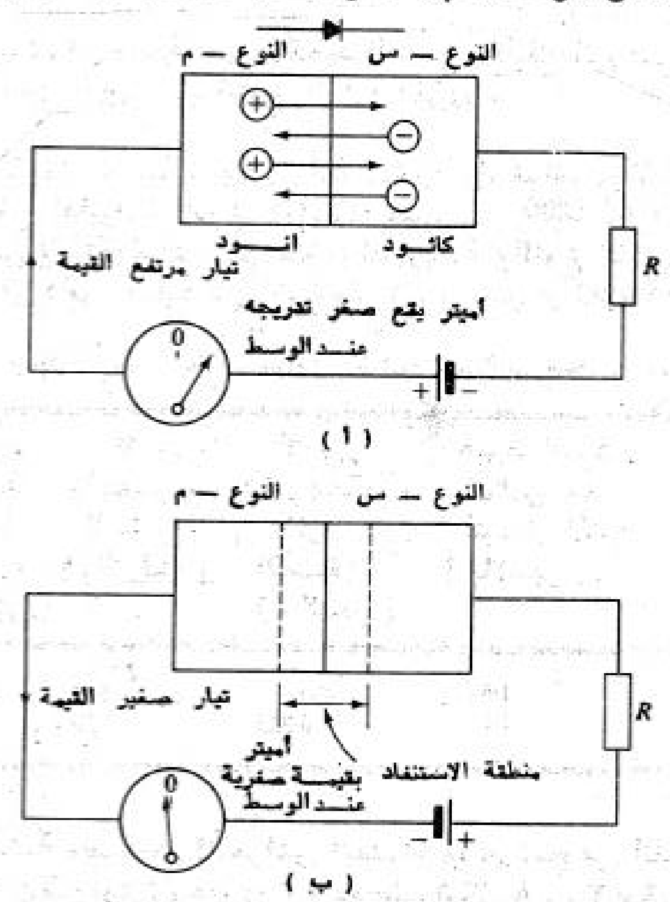
تتكون الوصلة م — س (p-n) للدايود من بلورة واحدة من مادة شبه موصلة كان قد استنشر فيها شوائب اثناء تصنيعها لتعطى النوع الموجب للانود والنوع السالب (n-type) للكاثود .

ولقد وجد ان تيارا كبيرا يمر فى الدائرة اذا ما تم توصيل الدايود كما فى شكل ٨ — ٢ [ا] ، حيث يتم توصيل الانود من النوع الموجب [م] بالقطب

الموجب للبطارية ، بينما يوصل الكاثود وهو من النوع السالب [س] ، بالقطب السالب للبطارية . والسبب فى ذلك هو ان غالبية حاملات الشحنة [انظر الفصل الاول] فى النوع الموجب [م] للمادة عبارة عن فجوات ، بينما هى عبارة عن الكترونات فى النوع السالب [س] للمادة . وهكذا ، اذا ما تم توصيل جزء البلورة [م] ، للدايود بالقطب الموجب للمصدر ، فان فجوات البلورة الموجبة تعبر الوصلة منجذبة نحو القطب السالب عن طريق تدرج الجهد عبر النبيطه . وبالمثل فان الكترونات البلورة السالبة تعبر الوصلة منجذبة نحو القطب الموجب من الدايود وبعيدة .

ومما سبق ، يتضح ان للدايود انحيازا اماميا عندما تكون قطبية الانود نوع [م] موجبة بالنسبة للكاثود نوع [س] وتمثل المقاومة R المبينة فى شكل ٨ — ٢ [أ] مقاومة الحمل .

فاذا ما تم عكس قطبية المصدر كما فى شكل ٨ — ٢ [ب] فان قيمة التيار المــار فى الدائرة تنخفض الى قيمة صغيرة جدا . وعلى هذا المنوال من التشغيل ، فان الكترونات البلورة السالبة المتحركة تبتعد عن الوصلة متجهة نحو القطب الموجب المتصل بها . وبالمثل ، تنجذب فجوات البلورة الموجبة المتحركة بعيدا عن الوصلة متجهة نحو القطب السالب المتصل بالانود .



شكل ٨ — ٢ [أ] دايود امامى الانحياز [ب] دايود عكسى الانحياز

وكنتيجة لذلك ، يستفد جانبا الوصلة [م — س] من حاملات الشحنة ويكونان منطقة عازلة الفاعلية . وهكذا ، تتكون **منطقة الاستنفاد** فى منطقة الوصلة عكسية الانحياز . ويتناهى سمك المنطقة المستنفدة فى الصغر بينما يتخذ تدرج الجهد قيمة عالية .

وتؤدى زيادة جهد الانحياز العكسى الى زيادة ضئيلة فى سمك المنطقة المستنفدة بسبب الابتعاد الاكثر للالكترونيات والفجوات عن الوصلة ، ويبدو دايود الانحياز العكسى بالنسبة للدائرة الخارجية وكأنه مكثف . وتتناقص سعة الدايود مع ازدياد سمك العازل [او بمعنى آخر ، سمك الطبقة المستنفدة] بحيث تؤدى الزيادة فى الانحياز العكسى الى نقص لسعة الدايود وتستخدم انواع خاصة من الدايود ، تعرف باسم دايود الفاركتور ودايود الفاريكاب [دايود متغير السعة ، على المنوال عكسى الانحياز] فى دوائر الراديو والتليفزيون لضبط تردد الرنين لدوائر الموالفة وذلك بتغير سعة الدايود بواسطة التحكم فى الجهد .

وستؤدى زيادة الانحياز العكسى فى النهاية الى اقصى قيمة يمكن تقبلها لتدرج الجهد عبر المنطقة المستنفدة لمثل هذه المجموعة من انواع الدايود . ويعرف هذا الجهد باسم **الجهد العكسى متكرر الذروة** V_{RRM} .

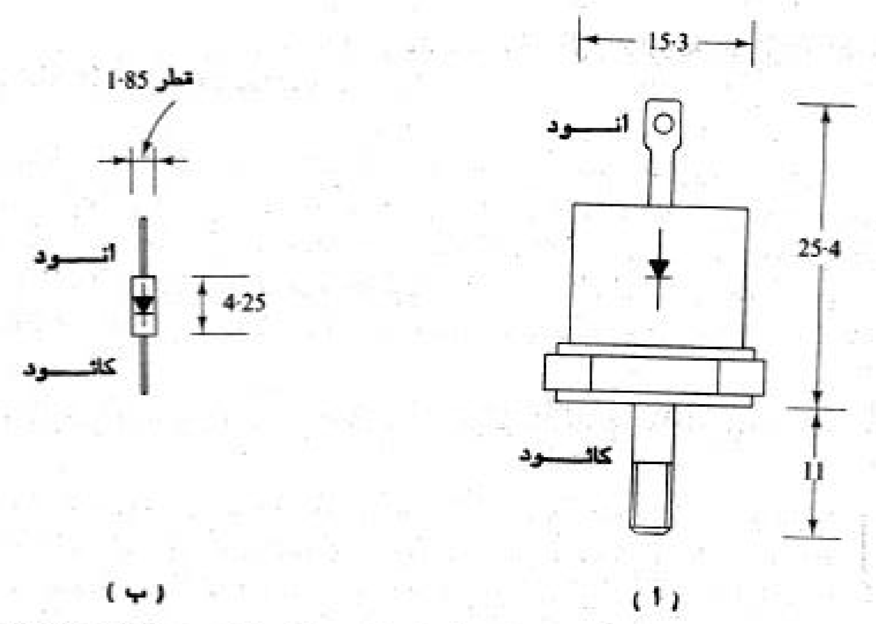
وسوف تؤدى اى زيادة اخرى للجهد العكسى بالقطع الى انهيار عكسى ، وذلك عندما يبدأ الدايود فى التوصيل مرة اخرى .

ويعطى الجدول ٨ — ١ بعض التفصيلات من قوائم مواصفات نوعين اثنين من أنواع الدايود : النوع الاول منه يسمى **BYX 51-1200** وهو مقوم سليكونى لاستخدامات نظم القوى الكهربائية والنوع الثانى منه يسمى **BA 317** وهو دايود سليكونى مسطح فوقى محورى **Planar epitaxial**

جدول ٨ — ١ مقننات موحدتى الدايود المبينة فى شكل ٨ — ٢

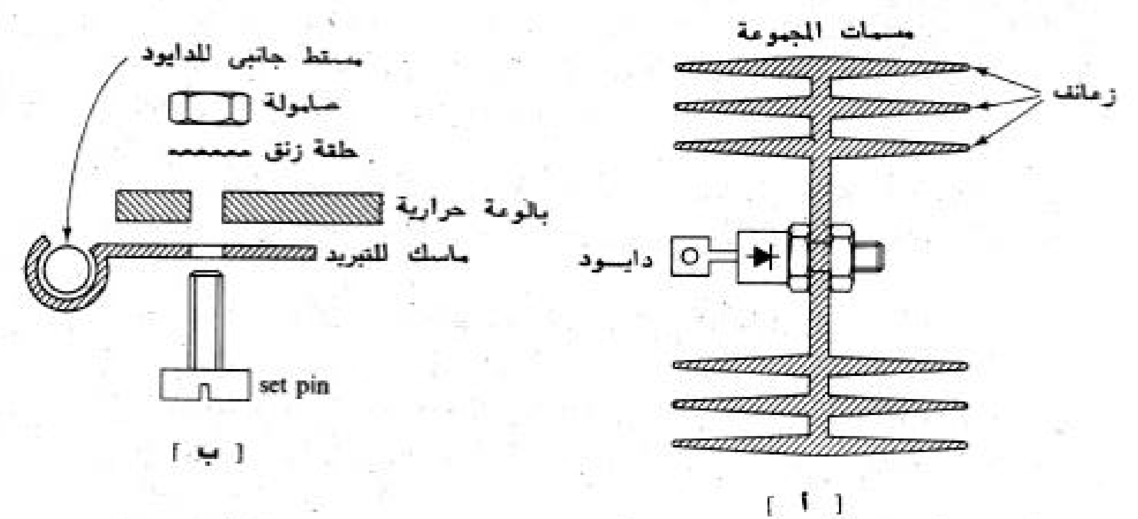
النوع	تقنين القيمة المتوسطة للتيار [بالامبير]	تقنين الجهد العكسى [بالفولت]	اقصى تغير مفاجىء متكرر للتيار [بالامبير]	هبوط الجهد الامامى عند التيار المقنن [بالامبير]	اقصى درجة حرارة تشغيل
BYX52-1200	40	800	450	1·4	175
BA317	0·1	30	0·225	1·1	200

ذو قدرة منخفضة ويستخدم للاغراض العامة. وسيوضح فى الفصل الثانى عشر معنى « سطح فوقى محورى » . ويعطى شكل ٨ — ٣ بيانين اجماليين بالابعاد لهذين النوعين من الدايود .



شكل ٨ ـ ٣ بيانات اجمالية بالابعاد: [أ] دايــود BYX 52-1200
[ب] دايود BA 317 [جميع الابعاد بالمليمترات]

ويتضح من الجدول ٨ ـ ١ أن قدرة المقوم BXY 52 المبددة عنـدما يمر تياره المقنن تبلغ 56W = 1.4 × 40 . ولكى تبدد هذه الكمية من القدرة ، ينبغى تركيب الدايود فوق **بالوعة حرارية** مدهونة باللون الاسود ، وتصنع اما من النحاس او الالومنيوم ، وقد تستخدم ايضا مروحة للتبريد . ويوضح شكل ٨ ـ ٤ [أ] مقطعا فى بالوعة حرارية تستخدم مع دايود قدرة ، حيث تزيد الزعانف من المساحة المتاحة للاشـعاع الحرارى . فاذا تطلب الامر بالوعة حرارية لدايود صغير ، فقد تتخذ هذه البالوعة ، ببساطة ، شكل



شكل ٨ ـ ٤ طرق تركيب وحدات الدايود فوق البالوعـــات الحرارية

ماسك للتبريد، بحيث يقبض حول الدايود باحكام كما هو موضح بشكل ٨ ـ ٤ [ب] . وقد يكتفى بماسك التبريد نفسه لتوفير درجة التبريد المناسـبة ،

أما اذا لم يف بالغرض ، فانه يربط بمسمار الى بالوعة حرارية قد تكون للبساطة شاسيه التجهيزات .

وهناك نقطة جديرة بالملاحظة عند القيام بلحام الدايود وبعض نبائط اشباه الموصلات فى الدوائر الالكترونية ، وهى اننا ننصح بتقليل كمية الحرارة الموصلة الى الوصلة بواسطة الاسلاك . وتستخدم احدى الطرق المتبعة لهذا الغرض ، **قنطرة حرارية** قد تكون ببساطة ، عبارة عن مشبك تمساح او اى موصل آخر مناسب للحرارة يشبك بصفة مؤقتة بالسلك .

٨ ــ ٤ دراسة خواص وصلات الدايود بالنسبة للتأثيرات الحرارية

تزداد خاصية الموصلية الذاتية لنبيطة اشباه الموصلات مع تزايد درجة حرارة التشغيل [انظر الفصل الاول] . ويوضح شكل ٨ ــ ٥ التغير فى خواص وصلات الدايود نتيجة لزيادة درجة الحرارة . وقد اظهرت الخاصية المناظرة لدرجة حرارة محيطة مقدارها $25^\circ C$ بالخط الممتلىء ، وبمقياس رسم مقدر بالامبير لتيار الانحياز الامامى اما بالنسبة للانحياز العكسى فقد قدر مقياس الرسم بالميكروامبير .

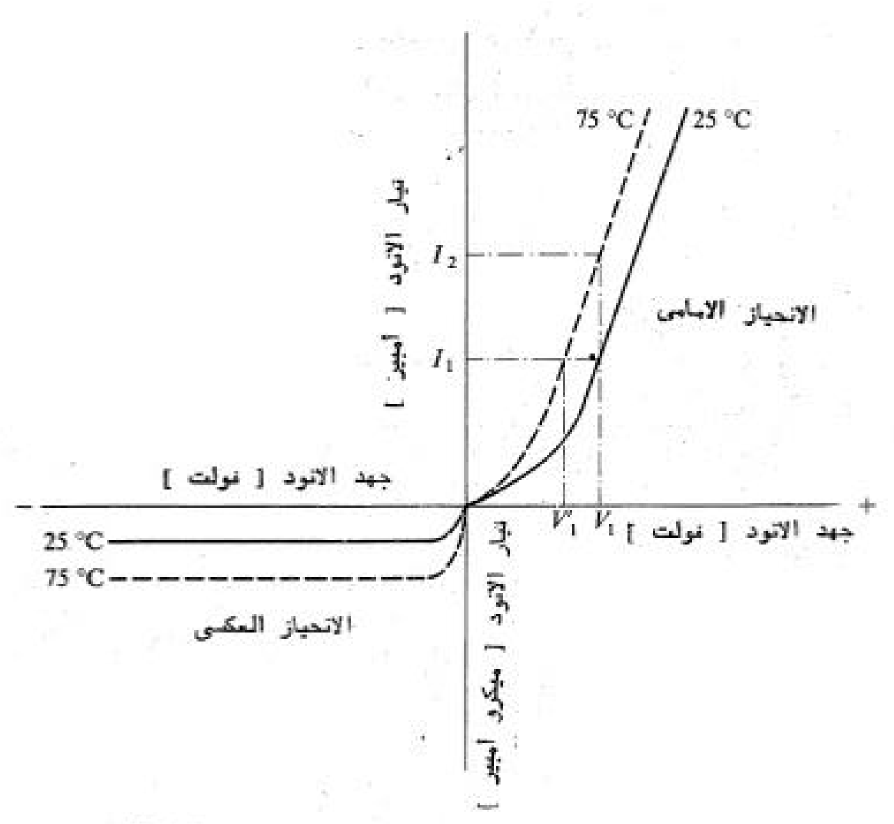
والان ، لنأخذ فى الاعتبار ، أولا ، تغير ربع الشكل امامى الانحياز . فعند تزايد ما لدرجة الحرارة ، بالنسبة لقيمة معطاة من الهبوط الامامى للجهد ، يؤدى تزايد انسياب التيار ، نتيجة ازدياد الموصلية الذاتية ، الى زيادة تيار الدايود . وهكذا ، فانه بالنسبة لهبوط امامى للجهد مقداره V_1 ، ينساب تيار قيمته I_1 عند درجة حرارة $25^\circ C$ وتيار قيمته I_2 عند درجة حرارة $75^\circ C$. وبطريقة اخرى ، فانه بالنسبة لقيمة معطاة من تيار الدايود مقدارها I_1 ، مثلا ، تكون قيمة هبوط الجهد عبر الدايود V_1 عند درجة حرارة $25^\circ C$ وتبلغ V'_1 عند درجة حرارة $75^\circ C$. وبمعنى آخر ، يتناقص الهبوط الامامى للجهد ، لكل قيمة معطاة من تيار الحمل ، مع تزايد درجة الحرارة .

أما بالنسبة لربع شكل ٨ ــ ٥ عكسى الانحياز ، فان انطلاق حاملات الشحنة يزداد مع تزايد درجات الحرارة ، مما يؤدى الى زيادة التسرب .

٨ ــ ٥ دوائر المقوم احادى الطور

تستخدم دوائر متنوعة لتقويم الجهود المترددة اى لتحويل الموجة المترددة لاخرى موحدة الاتجاه او لاشارة من التيار المستمر . وسنصف فيما يلى عددا من الدوائر الاكثر اهمية .

فمن الممكن استعمال **دائرة الموجة النصفية احادية الطور** ، شكل ٨ ــ ٦ [أ] . مباشرة بين مصدر التيار المتردد وحمل التيار المستمر بدون استخدام اى محول كهربائى . يوصل الدايود طالما انوده موجب بالنسبة



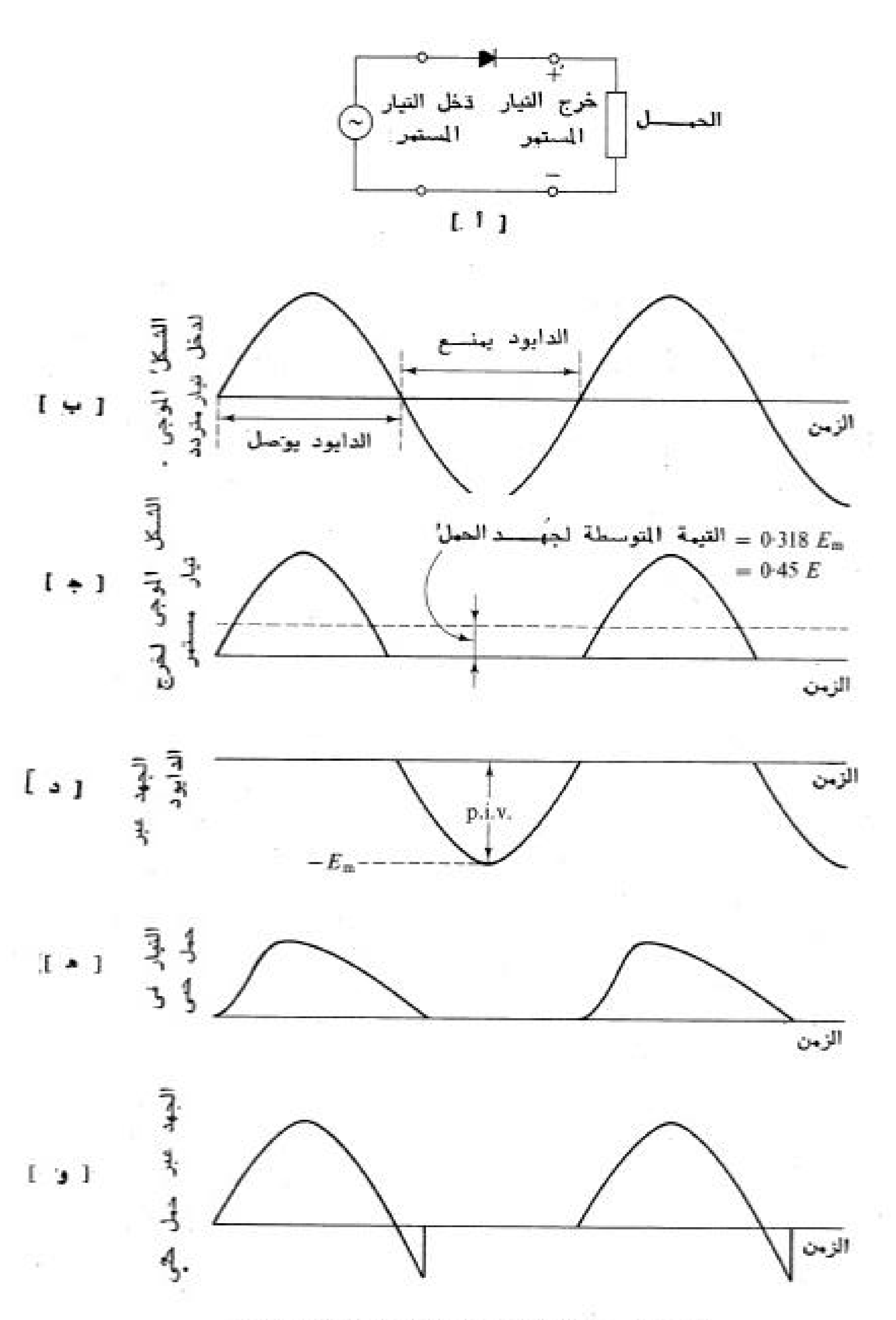
شكل ٨ ــ ٥ تأثيرات الحرارة على خـــواص وصلة الدايود

لكاثوده ، بينما يمنع سريان التيار عندما يكون الانود سالبا بالنسبة للكاثود ، كما هو موضح فى شكل ٨ ــ ٦ [جـ] و [ء] . بذلك يكون الشكل الموجى لتيار الحمل عبارة عن نبضات موحدة الاتجاه تنساب خلال النصف الموجب لموجات مصدر التيار المتردد . فى حالة ما اذا كان الحمل عبارة عن مقـــاومة فان تيار وجهد الحمل يكون لهما نفس الشكل الموجى مثل النصف الموجب لدورة موجات مصدر التيار المتردد .

جهد الذروة العكسى [ج.ذ.ع] المطبق على الدايود يحدث عند ذروة النصف الموجب لدورة موجات جهد المصدر ، وفى حالة وجود مصدر موجات جيبية يكون جهد الذروة العكسى هو

$$\text{ج.ذ.ع} = E_m = \sqrt{2}E$$

حيث هو اقصى قيمة للشكل الموجى للمصدر و E هى ج.م.م القيمة . فى حالة وجود مصدر موجات جيبية لــ ج.م.م القيمة يساوى 240V فان ج.ذ.ع الدورى يكون 340V ، بينما يكون 622V فى حالة مصدر له ج.م.م يســاوى 440V .



شكل ٨ ــ ٦ دائرة مقوم نصف الموجة أحادية الطور

[وكقاعدة عامة مبسطة ، يمكن احتساب القيمة الذروية للموجة الجيبية برقم ينقص قليلا عن 1.5 مرة ج.م.م القيمة] وعلاوة على ذلك ، تضاف بصفة دورية تغيرات مفاجئة لجهد عابر الى الجهد الاصلى للمصدر . ومن الممكن أن تحدث هذه الدفعات العابرة من عدة مصادر منها :

[ا] فصل حمل التيار المستمر عند خرج المقوم .

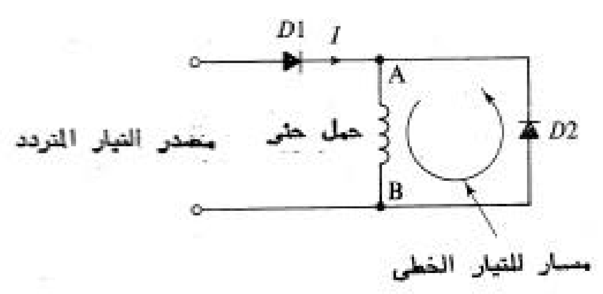
[ب] فصل احمال حثية موصلة على التوازى مع دخل الدائرة .

[جـ] تحميل المحول او قطع تيار الحمل بالنسبة للحالات التى تغذى فيها المقاومات عن طريق المحول الكهربائى .

ولكى نتعامل مع هذه التغيرات العابرة ، ينبغى ان يزداد تقنين جهد الدايود العكسى عن Em . وكقاعدة عامة ، ينبغى تقنين جهد الدايود العكسى للمقوم المبين فى شكل ٨ ــ ٦ [ا] بما لا تقل قيمته عن ضعف ج.م.م جهد المصدر ،أي ما قيمته 480V لمصدر الجهد 240V وما قيمتــه 880V لمصدر الجهــد 440V .

وغالبا ما تستخدم دوائر المقومات مع احمال حثية ، مثل المغناطيسيات والمحركات الكهربائية ، ويبين شكل ٨ ــ ٦ [هـ] ، [و] تأثير الحمل الحثى على الاشكال الموجية لكل من الجهد والتيار . فعندما تبدأ فترة توصــيل الدايود ، فى حالة الحمل الحثى ، تسبب الــ ق.د.ك. المعارضة من ملف المحاثة بطءا فقط عند بداية فترة تزايد التيار ، لتعطى له مظهر الانكفــاء المألوف والمبين فى شكل ٨ ــ ٦ [هـ] . ونظرا لما يختزنه الحمل الحثى من طاقة ، فلن تكون قيمة التيار قد وصلت الى الصفر ، عنــد نهاية النصف الموجب للدورة حيث تكون قيمة جهد المصدر قد تناقصت للصفر . والنتيجة ، هى أن الــ . ق.د.ك. المعارضة بالملف ، تدفع الدايود لكى يستمر فى التوصيل خلال النصف السالب لدورة موجة الجهد وحتى تكون قيمة التيــار قد تناقصت الى الصفر . ويوضح شكل ٨ ــ ٦ [و] الشكل الموجى للجهــد عبر الحمل .

ومن الجائز ان يترتب عن التحميل الحثى لبعض الدوائر نوعا من المشاكل، بينما لا تثار اية مشكلة بالنسبة لبعض الانواع الاخرى من الدوائر [أنظر ، على سبيل المثال ، الفصل الخامس عشر] . ويمكن فى بعض الاحيان تبنى طريقة لمنع توصيل دايود المقوم الرئيسى خلال النصف السالب من دورة موجة الجهد باستخدام **دايود الحدافة** ، $D2$ كما هو موضح بشكل ٨ ــ ٧ ففى اثناء النصف الموجب من دورة موجة جهد المصدر ، يكون دايود المقوم $D1$ فى حالة توصيل ، ويمد الطاقة للحمل فى نفس الوقت الذى يــكون فيه دايود $D2$ عكسى الانحياز . وفى خلال الجزء المبكر من النصف السالب لدورة جهد المصــدر ، حيث لايزال التيار مــارا بالملف الحثى ، تؤدى الــ . ق.د.ك . المعارضة الى أن تصبح نقطة A سالبة بالنسبة الى نقطة B . وهكذا تنشأ حالة يصبح بها المقوم $D2$ امامى الانحياز . فيهىء مســارا لانسياب تيار الطاقة المختزنة فى الملف الحثى . وعندما يوصل المقوم $D2$ ،



شكل ٨ ــ ٧ استخدام دايود الحدافة $D2$ مع حمل حثى

فلن يزيد فرق الجهد بين نقطتى A و B عن 1 الى 1.5 فولت ، ونعنى بهذا هبوط الجهد الامامى عبر $D2$ ، بحيث ينقطـــع مرور التيار خلال $D1$ حينما تزيد القيمة السالبة لجهد المصدر عن هذه القيمة . ويوصف المقوم $D2$ ايضا بدايود كبت الشرارة واحيانا دايود توحيد الاتجاه .

وطبقا لـــا عرض سابقا ، فان دائرة مقوم نصف الموجة تعمل على الانتفاع بنصف دورة موجة المصدر فقط . اما دوائر الموجة الكاملة كما فى شكل ٨ ــ ٨ فانها تعطى خرجا من التيار المستمر خلال كلا النصفين من دورة موجـــة المصـــدر .

وبالنسبة للدائرة **ذات نقطة التفرع المتوسطة** أو **مزدوجة الطور** الموضحة فى شكل ٨ ــ ٨ [أ] ، فانها تغذى مقومات الدايود عن طريق محول كهربائى ذى نقطة تفرع متوسطة . ويتم توصيل الملفات الثانوية بحيث يصبح أنـــود $D2$ سالبا ، عندما يكون انـــود $D1$ موجبا بالنسبة الى نقطة التفرع المتوسطة والعكس بالعكس . فمثلا ، خلال النصف الموجب لدورة جهـــد المصـــدر ، يوصل الدايـــود $D1$ ، بينما يكون الدايـــود $D2$ مانعا وبهذه الكيفية ، تحافظ نقطة A على أن تظل اعلى جهدا من نقطة B خلال كل نصف دورة . وتكون الحصيلة النهائية هى مضاعفة خرج الجهد الفعال اذا ما قورن بحالة الموجة النصفية [بافتراض أن نسبة ملفات المحول هى $(1 + 1) : 1$] .

وهناك عدة عيوب للمحولات الكهربائية ، منها تكلفتها وحجمها ووزنهـــا بالاضافة الى القدرة المفقودة بها . لذا ، يلجأ الى الدائرة ذات نقطة التفرع المتوسطة فى الاحوال التى يتحتم ان يغذى بها الحمل من جهد لانمطى أو اينما يتحتم عزله كهربائيا عن مصدر القدرة .

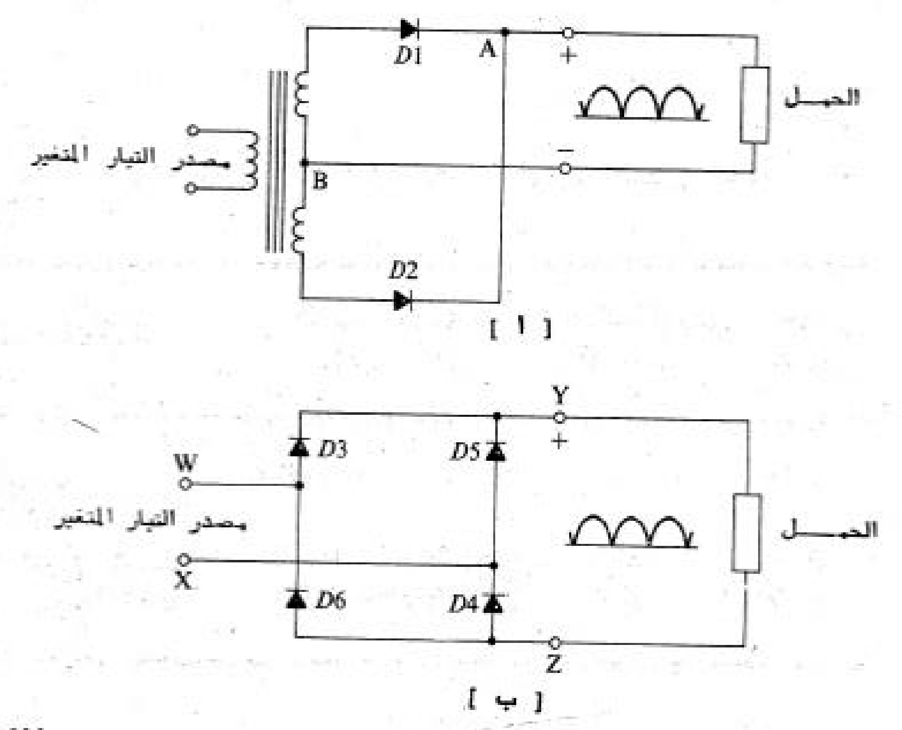
وعندما يصل جهد الخرج فى شكل ٨ ــ ٨ [أ] عند قيمة الذروة ويكون الدايود $D1$ فى حالة توصيل ، على سبيل المثال ، فان جهد أنـــود $D2$ يكون عند قيمة الذروية السالبة . وهكذا يتعرض الدايود $D2$ لجهد ذروة عكسى تعادل قيمته ضعف القيمة الذروية لجهد الملف الثانوى ، اى 2.828 مرة ضعف ج.م.م قيمة الجهد الثانوى . ويتعرض ايضا الدايود $D1$ لنفس القيمـــة من [ج.ذ.ع] خـــلال نصف الـــدورة التـــالى .

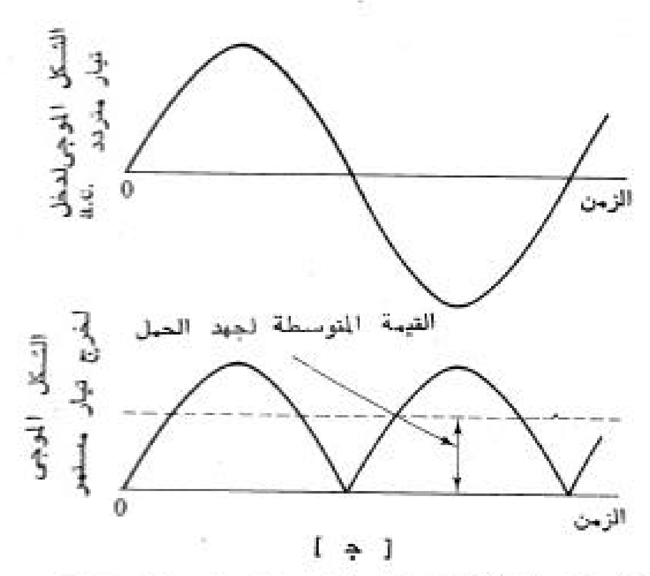
وكقاعدة عامة وبسيطة ، ينبغى أن يعادل الجهد المقنن لمقومات الدايود ، المستخدمة فى الدوائر ذات نقط التفرع المتوسطة ، ما يعادل حوالى اربعة اضعاف ج٠م٠م . قيمة جهد المصدر .

ويوضح شكل ٨ ــ ٨ [جـ] الاشكال الموجية لكل من جهدى الدخل والخرج [بفرض أن الحمل عبارة عن مقاومة] .

وتعتبر **دائرة المقوم القنطرية** ذات الطور الواحد ، شكل ٨ ــ ٨ [ب] اكثر شيوعا ، ويعزى تفضيلها الى انها لا تتطلب محولا كهربائيا . فعندما تكون النقطة W موجبة بالنسبة للنقطة X يصبح كل من وحدتى الدايود D3 و D4 امامية الانحياز وتحملان التيار ، بينما يصبح كل من D5 و D6 عكسى الانحياز . فى خلال نصف الدورة هذه ينساب التيار من Y إلى Z خلا ل الحمل . وعندما تكون النقطة W سالبة بالنسبة للنقطة X فان كل من D5 و D6 يكون أمامى الانحياز ، بينما يكون D3 و D4 عكسى الانحياز ، وهكذا ينساب التيار مرة اخرى فى الدائرة الخارجية من Y الى Z . وتتساوى قيمة جهد الذروة العكسى المسلط عبر مقومات الدايود فى دائرة قنطرية مع القيمة الذروية لجهد المصدر التى تبلغ 1.414 مرة قيمة ج٠م٠م جهد المصدر فى حالة ما اذا كانت موجاته جيبية .

هذا وقد أدرج فى الجـــدول ٨ ــ ٢ أهم بارامترات زوائر المقومات احادية الطور حيث تمثل Em القيمة القصوى للجهد المغذى للمقوم ، E هى قيمة ج٠م٠م و f هى تردد المصدر بالهرتز . وسوف يدرك القارىء ان التردد الموجى الرئيسى هو 2f لكل من دائرتى الموجة الكاملة .





[ج]

شكل ٨ — ٨ دوائر مقومات الموجة الكاملة احادية الطور : [أ] ذات نقطة تفرع متوسطة أو ثنائية الطور [ب] قنطرية [ج] مبين الاشكال الموجية لجهد الدخل والخرج عندما يكون الحمـــل عبارة عن مقاومة

ويمـــكن استكشـــــاف السبب فى ذلك اذا ما وضعنــــا الشـــكل الموجى لخرج الدوائر ، والموضح فى شكل ٨ — ٨ [ج] ، تحت الاعتبار . فالزمن الذىتستغرقه موجة جهد الخرج خلال دورة كاملة انما يبلغ نصف زمن موجة الدخل ، ولذا ، فان تردد المركبات المترددة فى الشكل المـــوجى للخرج [التردد المويجى] يساوى ضعف تردد المصدر . وتبلغ قيمة التردد المويجى الرئيسى 100 هرتز ، بالنسبة لمصدر تردده 50 هرتز .

جدول ٨ — ٢ المتغيرات الهامة لدوائر المقوم احادى الطور

نوع الدائرة	القيمة المتوسطة لجهد الحمل	التردد المويجى الرئيسى	التموج النسبى
الموجة النصفية	0.318Em = 0.45E	f	1.11
الموجة الكاملة مع نقطة تفرع متوسطة	0.636Em = 0.9E	2 f	0.472
قنطرية — موجة كاملة	0.636Em = 0.9E	2 f	0.472

وتحسب القيم في العامود تحت عنوان : « التموج النسبى] من الجدول ٨ ــ ٢ بهذه المعادلة

ج٠م٠م٠ قيمة الجهد الموبجى الرئيسى
التموج النسبى = ─────────────
متوسط جهـــد الحمل

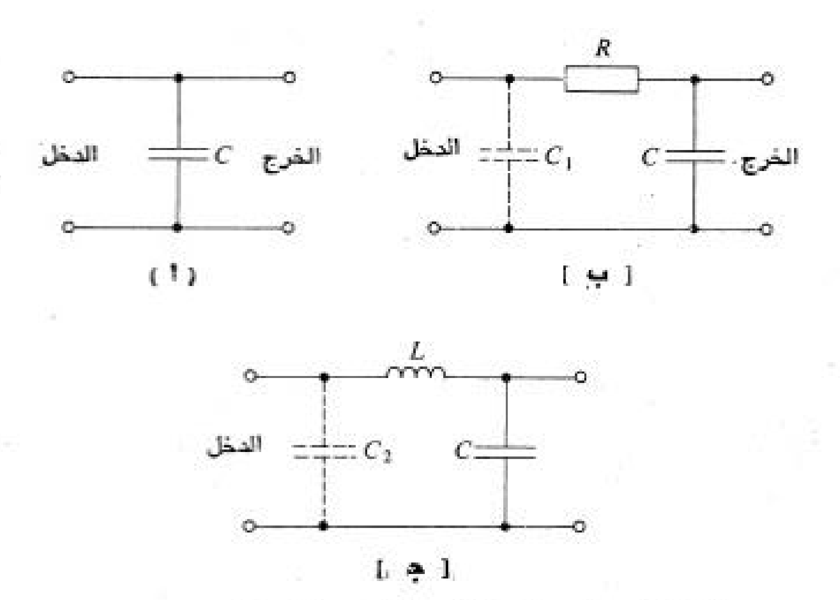
وهناك شكل شائع من نموذج لقنطرة المقوم احادى الطور تسمى كبسولة البلاستيك . وهو عبارة عن دائرة قنطرية كاملة لمقوم ومغلف بغلاف على هيئة مستطيل من البلاستيك ، ويخرج منه اربعة اسلاك يخصص سلكان منها لمصدر جهد التيار المتردد ويخصص السلكان الاخران لخرج التيــــار المستمر . ويصل التيار المقنن الى حوالى 10 او 15 امبير لبعض النماذج فاذا زادت قيمة التيار عن هذه القيمة ، تستخدم مقومات الدايود قنطرية التوصيل بعد تركيبها فوق بالوعة حرارية . ومن الممكن ايضا زيادة امكانيات بعض انواع نماذج كبسولات البلاستيك للتداول مع قدرات اكبر بتركيبها فوق بالوعة حرارية .

٨ ــ ٦ مرشـــحات المويجــــات

مرشحات المويجات وتسمى أحيانا **دوائر التسوية** هى صـــورة للدائرة الكهربائية المتكاملة والتى تستخدم لتقليل مويجات الجهد عند خرج دائرة المقوم ، الى أدنى حـــد ممكن . ويوضح شـــكل ٨ ــ ٩ ثلاثة اشـــكال اساسية لمثـــل هــــذه الــــدوائر . وتتطلب هــــذه الـــــدوائر مكثفات زائدة السعة فعليا ؟ وتقع عادة فى المدى من عشرة ميكرو فراد الى بضعة آلاف من الميكرو فراد .

ويعتبر **المرشح السعوى** ، شكل ٨ ــ ٩ [أ] بسيطا ورخيصا ويستخدم بكثرة عندما تكون مويجات الجهد صغيرة فعلا ، ولكى يتم تشغيل المرشح على الوجه الصحيح ، ينبغى أن تقل مفاعلة المكثف عند اصغر تردد مويجى عن حوالى عشر مقاومة خرج مصدر القدرة . وهناك عيب يتعلق بالمرشح السعوى ، فى حالة استخدامه مع دايود اشباه الموصلات ، اذ انه يسحب تيارا على هيئة نبضات متتالية عالية القيمة اذا ما قورنت مع القيمة المتوسطة لتيار خرج الدائرة . وهذا عائد الى اندفاع تيار شحن المكثف خلال فترة زمنية صغيرة من كل دورة . وهكذا تتعرض اجهزة اشباه الموصلات للتلف نتيجة انسياب مثل هذا النوع من التيار .

ويوضح شكل ٨ ــ ٩ [ب] بالخطوط الممتلئة ترتيبة شائعــــة **للمرشح ذى المكثف والمقاومة (RC)** . فاضافة المقاومة R على التوالى تحد من قيمة تيار الشحن الذى يسحبه المكثف وبذلك يمكن التغلب على عيب المرشح السعوى البسيط . ويمكن الوصول لمستوى أحسن من الترشيح اذا ما تم توصيل المكثف C_1 بين طرفى دخل المرشح ، لكن هناك عيبا مترتبا على



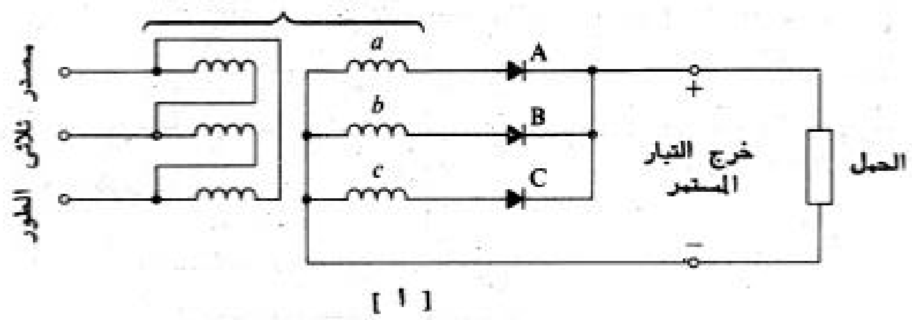
شكل ٨ — ٩ دوائر المرشح الموجى الرئيسية

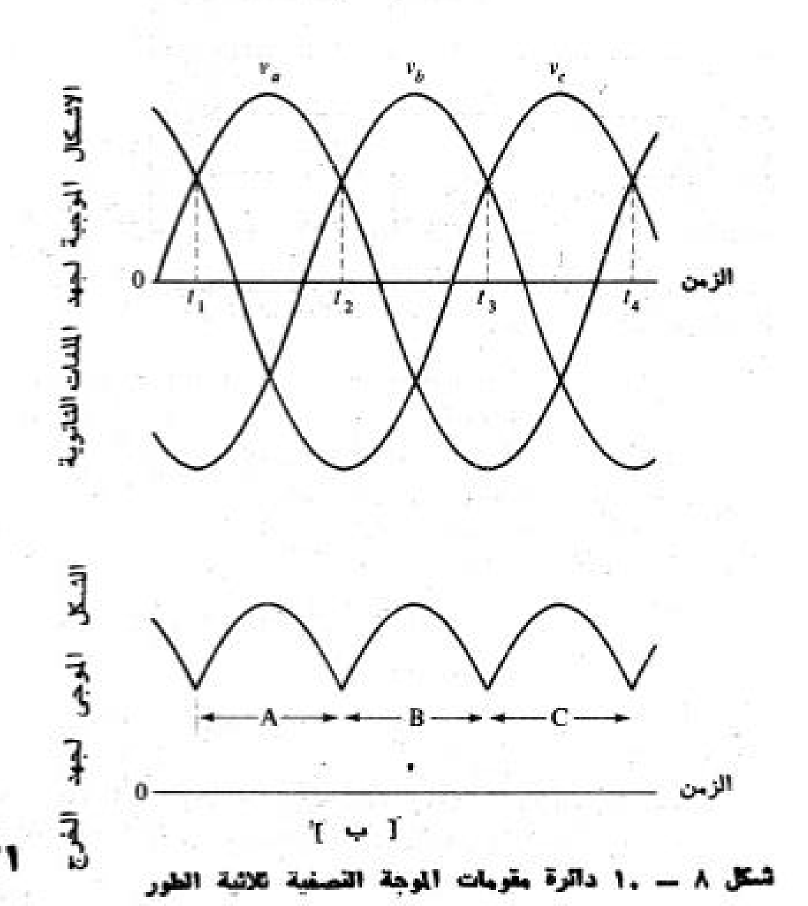
هذا التعديل يتمثل فى زيادة قيمة تيار الشحن الذى يسحبه هذا المكثف من المصدر . ومن عيوب المرشح الاساسى ذى المكثف والمقاومة (RC) هو ما يحدث من هبوط للجهد عبر المقاومة عند مرور تيار الحمل بها ، مما يؤدى الى انقاص جهـــد الخرج .

ومن المكن الوصول الى مستوى احسن للترشيح باستخدام المرشح ذى المحاثة والمكثف LC . ويوضح شكل ٨ — ٩ [جـ] بالخطوط المتلئة شكلا اساسيا لدائرة **مرشح الملف الخانق مع الدخل** ، والذى يضم محاثة L ومكثف C . ومن أجل الوصول الى مستوى من التشغيل على درجــة مرضية ، فمن الضرورى أن لايسمح للتيار المار خلال المحاثة بالهبوط الى الصفر . ولكى يكفل تحقيق هذا الشرط ، حتى فى احوال الحمل الخفيف ، فقد يكون من الضرورى القيام بتوصيل حمل دمية او **مقاوم استنزاف** بين طرفى الخرج . كما ينبغى أن يقل تردد رنين الدائرة LC كثيرا عن تردد ادنى توافقيات الشكل الموجى للخرج . فاذا كانت قيمة تردد المصدر المغذى للمقوم تساوى 50 هرتز ، وتم استخدام مقوم الموجة الكاملة ، فانه من اللازم أن يقل تردد الرنين للدائرة LC كثيرا عن 100 هرتز . وعلى سبيل الاسترشاد الاستقرابى ، فان حاصل ضرب L مع C [حيث تقدر وحدات L بالهنرى ووحدات C بالفاراد] لمصادر ذات ترددات 50 او 60 هرتزاً ، ينبغى أن يساوى او يزيد عن 0.0001 وتقع قيمة المحاثة ، المستخدمة بصفة عامة من مرشحات LC لمصادر القدرة الالكترونية ، فى المــدى من 3 الى 30 هنرى . ويزداد تحسن مستوى الترشيح باستخــدام مكثف اضافى ، C_2 ، عند الدخل كما هو مبين بالشكل . وتعرف الدوائر التى تحتوى L ، C ، C_2 ، باسم **مرشحــات** π [تنطق باى] حيث أن ترتيبة الدائرة تشابه شكل هذا الحرف الابجدى اليونانى . وتجدر الاشارة الى ان استخدام المحاثة انما يعنى ضخامة وثقلا وتكلفة للدائرة اذا ما قورنت مع الانواع الاخرى .

٨ — ٧ دوائر المقـومات متعـددة الطـور

تضم دائرة مقومات الموجة النصفية الثلاثية الطور ، كما فى شكل ٨ — ١٠ [أ] ثلاثة دوائر احادية الطور لمقومات الموجة النصفية . ويتضح ان الدايود A يقوم بتوصيل التيار للحمل كلما كان جهد الانود المرتبط به اعلى من جهد اى من الخطين الاخرين . وهكذا يوصل الدايود A خلال الفترة الزمنية t_1 الى t_2 [أنظر شكل ٨ — ١٠ [ب]] عندما يكون v_a اعلى جهدا من اى من v_b أو v_c . وخلال الفترة الزمنية t_2 الى t_3 ، يزيد الجهد v_b عن اى من v_a أو v_c ، وينتقل أو يتبادل تيار

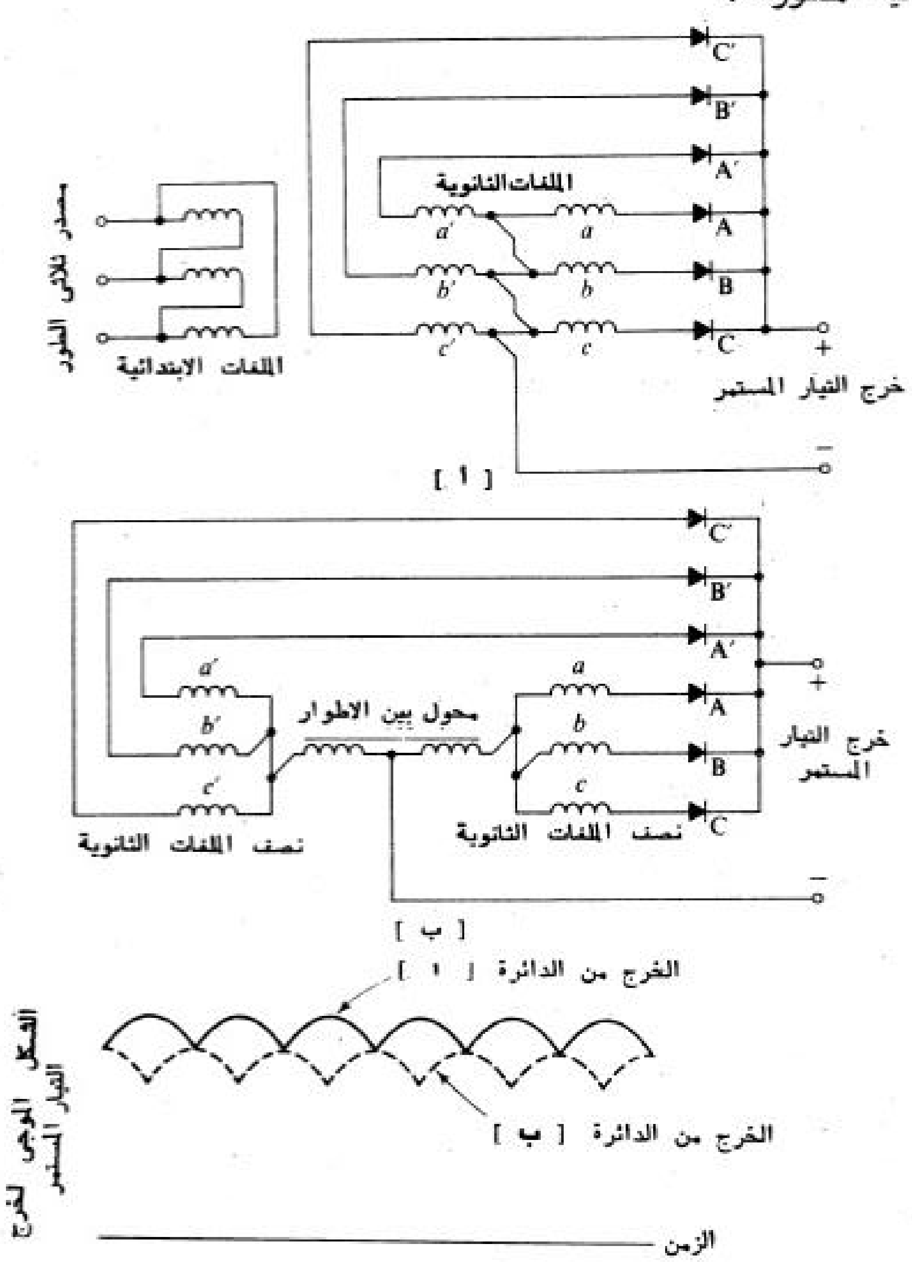




شكل ٨ — ١٠ دائرة مقومات الموجة النصفية ثلاثية الطور

الحمل الى الدايود B . وبالمثل ، يوصل الدايود C تيار الحمل خلال الفترة الزمنية t_3 الى t_4 . وهكذا ، يكون الغلاف العلوى للاشكال الموجية للتيار المتردد ، الشكل الموجى لخرج التيار المستمر ، انظر شكل ٨ — ١٠ [أ] .

ويقال ان دائرة الموجة التصفية تتبع منوال التشغيل **المفرد** ، بالنظر الى أن دايودا واحدا فقط هو الذى يقوم بتوصيل تيار الحمل خلال اى من الفترات الزمنية المذكورة .



شكل ٨ — ١١ [أ] الدائرة ثلاثية الطور ذات نقطةالتفرع المتوسطة [ب] توصيلة التجمة المزدوجة ، [ج] الاشكال الموجيةلخرج الجهد .

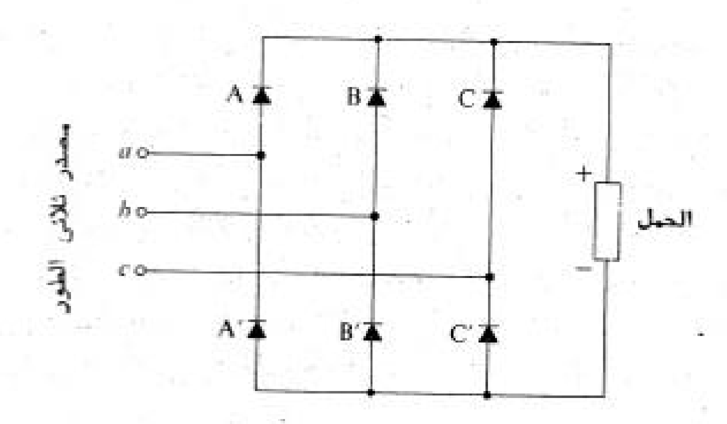
وخلال لحظة الزمن التى ينتقل التيار خلالها من دايود الى دايود آخر فان كليهما يقوم بالتوصيل فى آن واحد ، ويعرف هذا **بالتراكب** .

ويستخدم مقوم الموجة الكاملة ثلاثى الطور والموضح فى شكل ٨ — ١١ [أ] محولا كهربائيا ثلاثى الطور بملفات ثانوية ذات نقط تفرع متوسطة . فمع التوصيلات الموضحة ، توصل مقومات الدايود ابتداء من A ، 'C ، B ، 'A ، C ، 'B ، بالتتابع ، ويتبع الشكل الموجى لجهد الخرج ذى التيار المستمر غلاف الشكل الموجى لجهد الملفات الثانوية [انظر شكل ٨ — ١١[جـ]] . ولسوف يلاحظ القارىء أن الشكل الموجى لجهد الخرج قد اصبح أملس بالمقارنة مع الحالات الاخرى ، ونتيجة لذلك ، فان الحاجة لن تدعو . فى أحوال كثيرة ، لاستخدام مرشحات مويجية مع مثل هذا النوع من الدوائر المبينة فى شكل ٨ — ١١ . ومن الواضح أن الدائرة الموضحة فى شكل ٨ — ١١ [أ] تتبع منوال التشغيل المنفرد .

ومن الممكن تحسين الانتفاع بالمحول الكهربائى باستخدام **دائرة النجم المزدوج** ، شكل ٨ — ١١ [ب] . وفى هذه الحالة . يتم ربط كل من نصفى الملفات الثانوية كهربائيا مع بعضهما عن طريق **محول بين الاطوار** او **مفاعل بين الاطوار** ، وهذا المفاعل له نقطة تفرع متوسطة وله قلب حديدى ويسمح محول بين الاطوار لكل من نصفى دائرة المقوم بالعمل كما لو أن كلا منهما معزولا كهربائيا عن الاخر . ونتيجة ذلك . يوصل اثنان من مقومات الدايود ، واحد من كل دائرة فى نفس الوقت وبالتتابع التالى : مقومى الدايود A ، 'C ، ثم C ، B ثم 'B ، A ثم 'A ، C ثم C ، 'B ثم B ، A .

ويعرف هذا النظام **بالتشغيل المزدوج** . ويوضح شكل ٨ — ١١ [جـ] ، بالخطوط المتقطعة الشكل الموجى لجهد خرج هذه الدائرة . وفى ترتيبات اخرى أكثر تعقيدا ، يوصل عدد من المقومات فى نفس الوقت ، ويقال أنها تعمل على منوال التشغيل **المتعدد** .

ويوضح شكل ٨ — ١٢ دائرة مقوم قنطرية ثلاثية الطور . وتتبع طريقة تشغيل هذه الدائرة ، بصفة عامة ، نفس طريقة الدائرة القنطرية أحادية الطـــور .



شكل ٨ — ١٢ دائرة مقوم قنطرية ثلاثية الطور

فعندما يزيد جهد الخط a عن جهد اى من الخطين b او c ، فان دايود A يوصل ويكون كل من مقومى الدايود B , C عكسى الانحياز . ويرجع التيار الى الخطوط b ، C عن طريق مقومى الدايود B′ ، C′ وعندما يزيد جهد الخط b عن جهد اى من الخطين a أو c يتبـــادل تيار الحمل للدايـــود B .

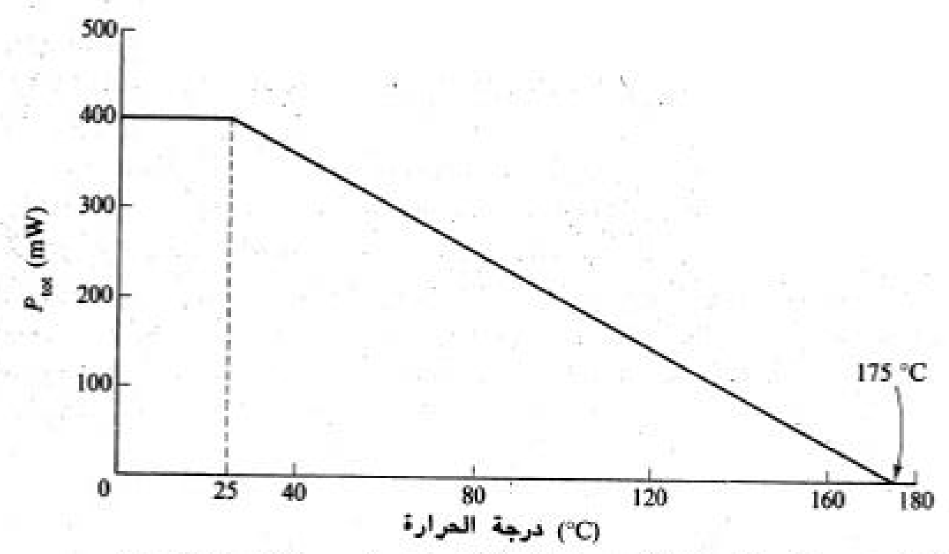
وقد أدرج فى الجدول ٨ — ٣ المتغيرات الهامة للمقومات التى عرضت عالية ، حيث Vp هى قيمة ج.م.م. الجهد المتردد المسلط بين طرفى المقوم مقاسا بين الطـــور وسلك التعادل ، و $V_L = \sqrt{3}V_P$

جدول ٨ — ٣ المتغيرات الهامة لدوائر المقوم ثلاثية الطـــور

نوع الدائرة	القيمة المتوسطة لجهد الحمل	التردد المويجى الرئيسى	التموج النسبى
الموجة النصفية	1.17 Vp	3f	0.177
نقطة تفرع متوسطة	1.35 Vp	6f	0.04
نجـــم مزدوج	1.37 Vp	6f	0.04
قنطـــرية	1.35 VL = $2.34V_P$	6f	0.04

٨ — ٨ منحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجـــة الحـــرارة المحيطـــة (Derating Curves)

تبدد الحرارة المتولدة فى الدايود اثناء التشغيل العادى من الوصـــلة الثنائية الى الخارج فى الجو المحيط . ويصل الدايود فى النهاية الى توازن حرارى عندما تزيد درجة حرارة الوصلة عن درجة الحرارة المحيطة بقيمة ثابتة . وعندما تكون درجة الحرارة المحيطة مرتفعة [ونعنى بمرتفعة أن درجة الحرارة تزيد عن 25°C]، فينبغى ان تقل القدرة المبددة من الدايود ، حتى لا تزيد درجة حرارة الوصلة عن حـــد الامان . وتعطى المصـــانع منحنيات تبين العلاقة بين القدرة الكلية Ptot المبددة من الجهـــاز الى الجو المحيط ودرجة الحرارة المحيطة [أنظر شكل ٨ — ١٣] .



شكل ٨ ــ ١٢ منحنى العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطه

ويرتبط المنحنى الموضح عاليه بمجموعة من وحدات الدايود (BAV 19-21 التى تبلغ قدرتها الكلية Ptot المقننة ما يعادل 400 mW وبحيث لايسمح لدرجة حرارة الوصلة ان تتعدى 175°C . وتنقص القدرة المبددة للدايود بانتظام من 400 mW الى الصفر عبر مدى لدرجة الحرارة من 25°C الى 175°C ، بمعدل 2·67 mW/°C . وبعد درجة حرارة مقدارها 25°C ، يعرف مقلوب ميل هذا المنحنى بالمقاوم الحرارى $R_{th(j-a)}$ الذى يحكم حرارة الوصلة مع درجة الحرارة المحيطة ، حيث

$$R_{th(j-a)} = (175 - 25)°C/(400 - 0)\ mW = 0{\cdot}375°C/mW$$

٨ ــ ٩ وقــاية الوصــــلات الثنــائية

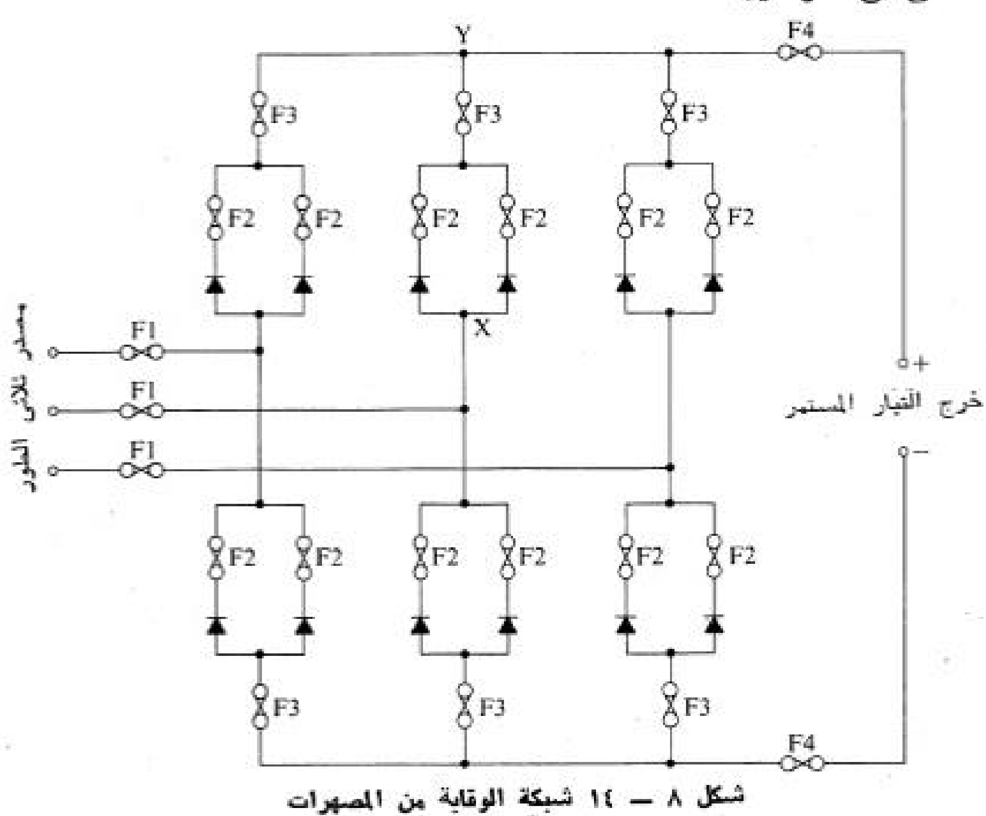
تتعرض وصلات أشباه الموصلات للتلف نتيجة عديد من الاسباب التى سوف نناقش اهمها فيما يلى :

عند توصيل او فصل المحولات الكهربائية فى حالة اللاحمل ، يتغير تيــار المغنطة بطريقة مفاجئة ، ويمكن فى هذه الحالة ان تتعرض الخطوط لجهود مستحثة مرتفعة القيمة وقد تتعدى قيمة هذا الجهد المستحث ، بالنســبة لاى دايود متصل بالخطوط ، قيمة جهد انهياره العكسى . وحتى يتسنى الحد من قيمة الجهد المستحث ، فمن المعتاد ان يتم توصيل اما دائرة مقاومة ومكثف RC متصلين على التوالى أو مقاوم تابع الجهد بين كل زوج من أسلاك التيار المتردد والتى تغذى دائرة المقوم . وتكون وظيفتها هى امتصاص بعض الطاقة من الجهــد العــابر .

ومن الضرورى أن يتم تصميم نظم المقومات للتشغيل فى مدى التغير المعتاد لدرجات الحرارة والمرتبط بالمنشأة . من اجل كل هذا ، ينبغى أن يتم تركيب مقومات الدايود بالطريقة الصحيحة وأن يوفر لها التهوية المناسبة .

وان استلزم الامر تشغيلا فى درجات حرارة متزايدة ، فمن الواجب ان ناخذ فى الاعتبار معاملات تبديد القدرة الملائمة طبقا لدرجة الحرارة القائمة .

ومن المعلوم ان أى خلل للمقومات قد يكون مكلفا ، لذا ينبغى توفير نظم وقاية شاملة ، ويوضح شكل ٨ — ١٤ ترتيبة متداولة لدائرة قنطرية . ويتكون كل ذراع من أذرع القنطرة، من بضع وحدات من الدايود متصلة على التوازى وفى بعض الاحوال ، متصلة على التوالى مع التوازى . ويستلزم الامر توفير الوقاية لكل وحدة دايود حيث أن عطل خلية واحدة من خلايا المقوم قد تؤدى الى حدوث قصر مسلط بين الخطوط عندما يبدأ ذراع القنطرة التالى فى التوصيل .



شكل ٨ — ١٤ شبكة الوقاية من المصهرات

ومن الجائز أن بدء اخفاق هذه الخلية كان نتيجة جهد زائد أو نتيجة لتيار زائد . ويمكن توفير وقاية اجمالية باستخدام مصهرات ذات **سعة قطع عالية (HRC)** فى المكان F1 كما هو مبين بالشكل ومن ناحية التيار المتردد للمقوم .

وعند تشغيل المصهر فى احوال العطل ، فمن المحتمل أن يتولد تغيرا لحظيا مفاجئا لجهد يفوق حد الامان لوحدات الدايود . ولا يتطلب الامر اذن وقاية المقوم فقط بل يصبح من المحتم ايضا وقاية كل مجموعة من الخلايا بمصهرات بحيث تولد خلال فترة التغير اللحظى طاقة ذات قيمة أقل من تلك التى يمكن أن تؤدى الى اخفاق الخلية او مجموعة الخلايا . وتهيىء المصهرات **F2** ، **F3** بوضعها فى شكل ٨ — ١٤ مثل هذا النوع من الوقاية . ويبذل قدر من الاهتمام لموائمة خواص هذه المصهرات مع خواص خلايا المقوم .

ومن الممكن ان تعمل جميع المصهرات فى نفس الوقت ، عند حدوث عطل من جهة التيار المستمر للمقوم . لذا يصبح من المحتم توفير نوع من التمييز بين مصهرات HRC فى الوضع F4 وبين المصـــهرات الاخرى فى الـــدائرة .

وعلى وجه العموم ، تصنع مرصوصات المقومات لاغراض نظم القـوى الكهربائية على هيئة نماذج جاهزة ، وتعتبر الدائرة بين X ، Y فى شكل ٨ ــ ١٤ نموذجا شائعا .

٨ ــ ١٠ وحـــدات دايـــود زينـــار

وحدات دايود زينار هى نبائط وصلات [م ــ س] التى تزيد شوائبها المتزجة عن شوائب الدايود المعتاد ، بحيث يحدث الانهيار العكسى عند قيم جهد اقل نسبيا . وتتواجد تجاريا وحدات دايود زينار بجهود انهيار عكسية تقع فى المدى بين بضع وحدات وبضع مئات من وحدات الفولت .

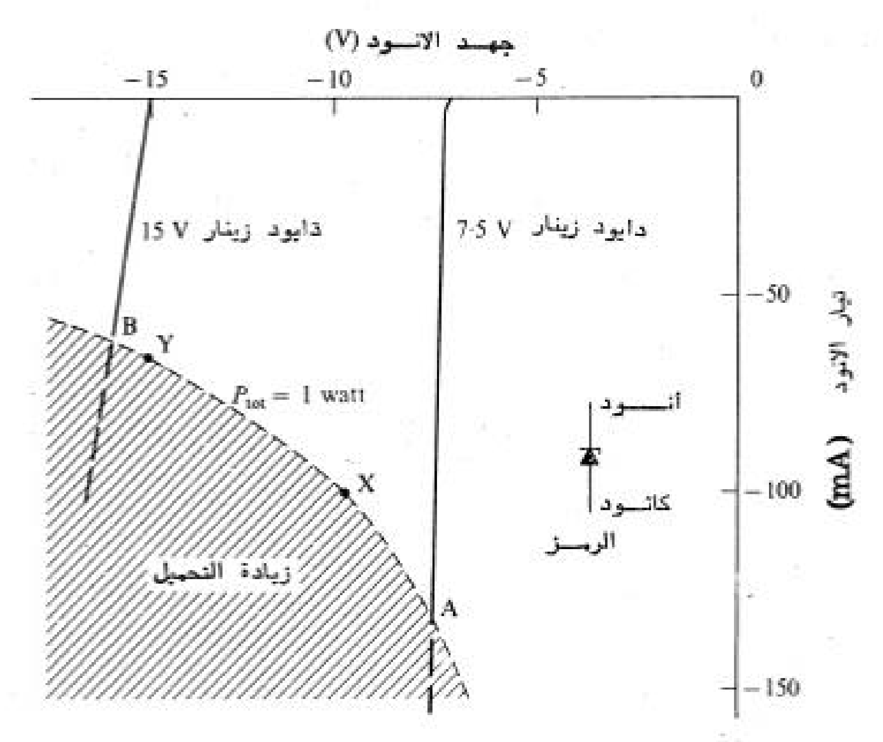
وتناظر خواص الانهيار العكسى الموضحة فى شكل ٨ ــ ١٥ وحدتى دايود لهما جهد انهيار اسمى قيمته 7.5V ، 15V على التـــوالى . ويقيـد نطاق تشغيل هذه الخواص بالقدرة الاجمالية Ptot التى من الممكن أن تبددها النبيطة . فاذا بلغت قيمة هذه القدرة 1W ، فان نطاق التشغيل ينحصر داخل قطع زائد تعطى معادلته كما يلى :

$$Ptot = VI = 1W$$

حيث V تمثل الجهد عبر الدايود ، I تمثل تيار الدايود . فعند النقطة X من منحنى Ptot فان V = 10V ، وتكون قيمة التيار I مساوية لـما قيمته 1/10 أو 0.1A أى 100 mA ، ويمر المنحنى بالنقطة Y حيث V = 15V ، 66.7 mA = 1 وتحدد القيمة القصوى للتيار الذى يسحبه الدايود بتقاطع خواص الدايود مع منحنى Ptot فبالنسبة للدايود 7.5V تصبح هذه النقطة عند A حيث I = 129 mA, V = 7.75V وبالنسبة للدايـــود 15V تصبح هذه النقطة عند B حيث V = 16V ، 1 = 62.5 mA .

وسوف يدرك القارىء ان الجهد عبر الدايود يزيد قليلا جدا مع تزايد التيار فى كل حالة وهذا عائد الى مقاومة الدايود الداخلية .

ويتنوع استخدام وحدات دايود زينار طبقا لمنوال الانهيار العكسى ، مع توصيل الكاثـــود لقطب المصدر الموجب . وتستخدم وحدات الدايود من هذا النوع كمرجع لمصدر جهد من ضمن التطبيقات الشائعة .



شكل ٨ — ١٥ خواص دايود زينار الانهيارية الحمل

وتصبح مهمة هذا المرجع أن يعطى قيمة للجهد على قدر كبير من الثبات عبر مدى واسع من احوال التحميل والحرارة . وقد تخطت استخدامات مصادر الجهد من وحدات دايود زينار كافة الخلايا النمطية التى كانت تستخدم منذ فترة .

ويوضح شكل ٨ — ١٦ دائرة اسناد جهد اساسية تستخدم دايود زينار . ومن الممكن فى هذه الدائرة تغذية مصدر الجهد غير المستقر Vs عن طريق مقوم قنطرى ومن بعده مرشح مويجى . ويتحتم أن يمر تيار خلال دايود زينار أثناء التشغيل العادى حتى فى حالة فصل الحمل . وكاسترشاد تقاربىبالنسبة لمستويات الجهد الشائعة ، فان القيمة الاسمية لجهد المنبع Vs تقع عادة فى المدى بين حوالى 1.5Vz الى 2Vz ، حيث تمثل Vz جهد انهيار دايود زينار . وسنتقدم فيما يلى طريقة مبسطة لتصميم دائرة اسناد للجهد .

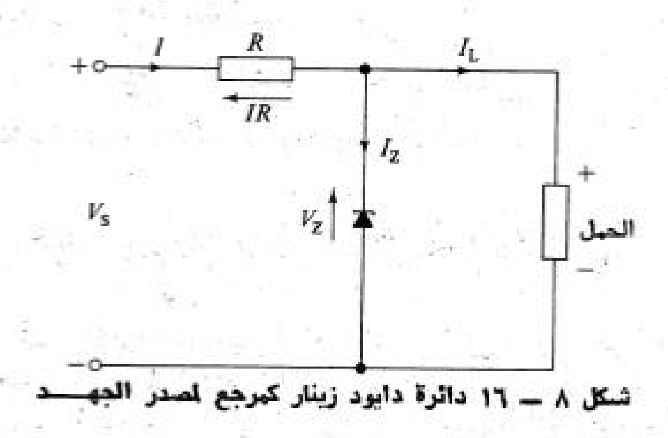
لنفرض أن المطلوب هو تصميم دائرة اسناد للجهد من الطراز الموضح بشكل ٨ — ١٦ لكى يعطى تيارا قدره 100 mA على ضغط قدره 5.5V . فلكى نحدد قيمة R ، يلزم اختيار قيمة Vs المستخدمة فى الدائرة ولتكن 10 V فكما سبق واوضحنا يتحتم أن يمر التيار خلال الدايود بصفة مستمرة ، اى أن يستمر تشغيل الدايود على منوال الانهيار العكسى طيلة الوقت . لندع أدنى قيمة لتيار الدايود مساوية mA ‎ ٥ . ففى حالة تيار حمل قيمته 100 mA

بالاضافة الى سحب لتيار خلال الدايود قيمته 1mA فان فرق الجهد بين طرفى R يكون

$$IR = V_S - V_Z$$

لذا

$$R = (10 - 5{\cdot}5)/0{\cdot}101 = 44{\cdot}6\ \Omega$$



شكل ٨ — ١٦ دائرة دايود زينار كمرجع لمصدر الجهـــد

فاذا افترضنا أن مقاومات بتفاوت مسموح به فى حدود 5 + فى المائة متواجده ، فان الاختيار ينحصر ما بين قيم قدرها 39 او 43 او 47 . ومن الضرورى ان تسمح قيمة المقاومة المختارة بتمرير 1 mA على الاقل خلال الدايود مع جهد للمصدر قيمته 10V بالاضافة الى تيار الحمل ومقداره 100 mA . من هذا يتضح ، اذن ، ان قيمة المقاومة المختارة لابد وان تقل عن 44.6 . ويمكن جدولة توزيع القيم المختلفة للمقاومات كما يلى :

القيمة المنتقاة (Ω)	أدنى قيمة (Ω)	أقصى قيمة (Ω)
47	44.65	49.35
43	40.85	45.15
39	37.05	40.95

فبالنسبة للقيمة المنتقاة 43 Ω ، يتضح أن أقصى قيمة لها تفـــوق أدنى قيمة يمكن تقبلها ، وهكذا نختار مقاومة بقيمة منتقاة 39 Ω . وسنفترض فيما يلى أن قيمتها الحقيقية تساوى 39 Ω . عندما يكون $R = 39\ \Omega$، $V_S = 10$ V ومع تيار حمل مقداره 100 mA ، فان ادنى قيمة لتيار الدايـــود تصـــبح 15.4 mA] وتصبح القدرة المستهلكة كما يلى :

$$P = (V_S - V_Z)^2/R = (10 - 5{\cdot}5)^2/39 = 0{\cdot}52\ \text{W}$$

ومن المؤكد أن مقاومة بقدرة مقننة قدرها 1W سوف تلائم هذا الغرض. وحيث انه قد تم اختيار مقاومة مقدارها 39 Ω ، فان قيمة التيار المـــار فى R يصبح

$$I = (V_S - V_Z)/R = (10 - 5{\cdot}5)/39 = 0{\cdot}115\ \text{A} = 115\ \text{mA}$$

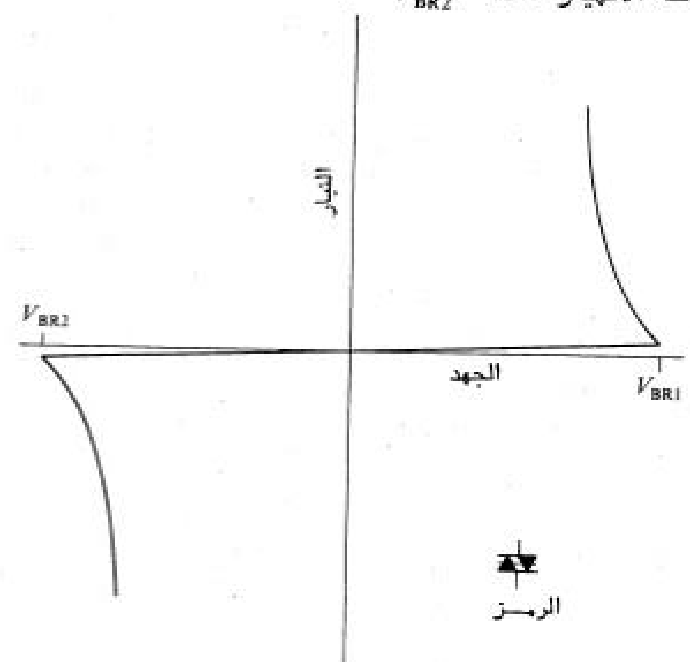
فاذا ما تم فصل الحمل ، فان هذا القدر من التيار سوف يمر خلال الدايود ، ويصبح التقنين ، P_D ، للدايود

$$P_D \geqslant V_Z I = 5{\cdot}5 \times 0{\cdot}115 = 0{\cdot}6325\ \text{W}$$

حيث أن تقنينا قدره IW للدايود يكون ملائما .

٨ ــ ١١ دايود الانهيار مزدوج الاتجاه (داياك)

ان وحدة دايود الانهيار مزدوجة الاتجاه ، والتى يرجع اليها عادة باسمها التجارى **داياك** ، هى نبائط ذات طرفين من الاسلاك وليست ابعد شبها عن وحدات الدايود الصغيرة ، ولها خواص مشابهة لتلك المبينة فى شكل ٨ ــ ١٧ . فعندما يقل الجهد عبر الدايود عن قيمة جهد الانهيار V_{BR1} ، فان الدايك يمنع مرور التيار . وعند جهد V_{BR1} ، يبدأ الدايك فى التوصيل ويتناقص الجهد عبر طرفيه الى قيمة اصغر . ويرتد الداياك الى حالته المانعة عندما يتم انقاص التيار المار لقيمة تقل عن حد أدنى معين لمثل هذا النـــوع من النبائط ، وتقع قيمة هذا الحـــــد الادنى عادة بين حـــوالى 50 الى 300 μA. كما يظهر الداياك خاصية الانهيار الكهربائى عندما يعكس جهد المصدر ، فيحدث الانهيار عند V_{BR2} .



شكل ٨ ــ ١٧ خواص واصطلاح دايود الانهيارمزدوج الاتجاه (داياك)

وتقع قيم انهيار الجهد عادة فى المدى بين 30 الى 50V . وليس من الضرورى ان تتساوى قيم كل من V_{BR1} ، V_{BR2} فقد يختلف كل منها عن الاخر بما قيمته بضع وحدات من الفولت .

وتستخدم وحدات الداياك عادة كنبائط تفريغ سعوية . وفى مثل هذه الدوائر ، يقوم المكثف بأداء دور مصدر طاقة ذى معاوقة منخفضة القيمة وبوفر ، علاوة على ذلك ، نبضة طاقة عظيمة لفترة زمنية متناهية القصر ، اثناء تفريغه خلال الداياك . ويعتبر مولد النبضات المستخدم مع الثايرستور والترايك واحدا من الاستخدامات المألوفة لوحدات الداياك [أنظر الفصل الخامس عشر] .

الفصـــــل التاســـــع

وحـــدات الترانزســـتور

٩ ـ ١ انواع الترانزستور :

ان التطور السريع فى تكنولوجيا اشباه الموصـــــلات ادى الى تصنيع مجموعة مدهشة من الترانزستورات . (الاسم ترانزستور هو اختصــار كلمتى مقاوم التحويل *TRAN*sfer re*SISTOR*) . ولحسن الحظ ، يمكن تصنيف الترانزستور الى نوعين اساسيين هما :

(أ) وصلات الترانزستور ثنائى القطب (BJTs)

(ب) ترانزستورات التأثير المجالى (FETs)

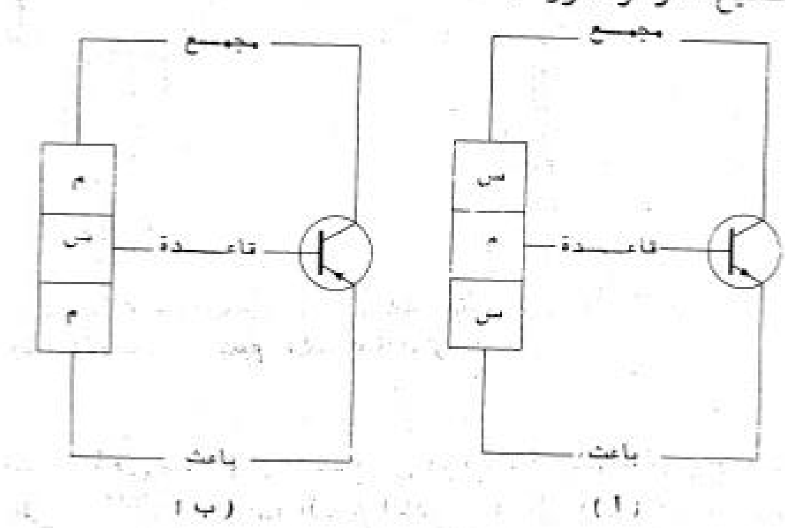
يؤخذ اسم ترانزستور ثنائى القطب من منطلق الحقيقة التى تقول ان كلا من حاملات الشحنة الموجبة والسالبة اى الفجوات والالكترونات تشـــارك فى ميكانيكية انسياب التيار . وتسمى وحدات ترانزستور التأثير المجالى بهذا الاسم لان مجالا كهربائيا يتحكم ويشارك فى عملية انسياب التيار فى وحدات ترانزستور التأثير المجالى . نوع واحد من الشحنات الحاملة التى يمكن ان تكون الكترونات او فجوات . وتبعا لهـذه الحقيقة توصف وحدات ترانزستور التأثير المجالى احيانا على انها نبائط ترانزستور احادية القطب .

٩ ـ ٢ وصلات الترانزستور ثنـائى القطب

يمكن تقسيم المجموعات السابقة الى تقسيمات فرعية اخرى ستوضح فيما يلى أهمها : ان وصلة الترانزستور ثنائى القطب هى نبيطة شـــبه موصلة من ثلاث طبقـــات يتم تصـنيعها اما من شريحـــة او نحـاته واحـــدة من المـــادة شـــبه الموصلة والتى تكون عادة من مادة السليكون بالرغم من ان مواد اخرى من ضمنهـــا زرنيخد الجيرمانيـــوم والجـــاليوم

تستخدم ايضا . وتعرف مناطق الترانزستور الثلاث بأسماء الباعث والقاعدة والمجمع ، على التوالى ، وهى موضحة فى شكل ٩ — ١ .

ويستعمل نوعان اساسيان من وصلة الترانزستور ثنائى القطب هما ترانزستورات سالب — موجب — سالب [س — م — س] ، وترانزستورات موجب — سالب — موجب . [م — س — م] . كما هوموضح فى الشكل . والابعاد الطبيعية للنبائط الحديثة المستعملة فى تطبيقات القدرة المنخفضة صغيرة جدا ، فمثلا تبلغ مساحة الانواع السطحية $7 \times 30\ \mu m$. حيث $1\ \mu m = 10^{-6}\ m$ وبالطبع ، فان الحجم الطبيعى لكبسولة الترانزستور يزيد كثيرا عن ذلك [أنظر شكل ٩ — ٢] لامكانية سهولة التناول . ولكى يمكن ادراك مدى صغر هذه الابعاد بالنسبة لمقادير واقعية، فان سمك صفحة هذا الكتاب يبلغ حوالى $100\ \mu m$ ومع هذا القدر من الأبعاد ، تصبح مراقبة الجودة أمرا حيويا جدا عند تصنيع الترانزستور .



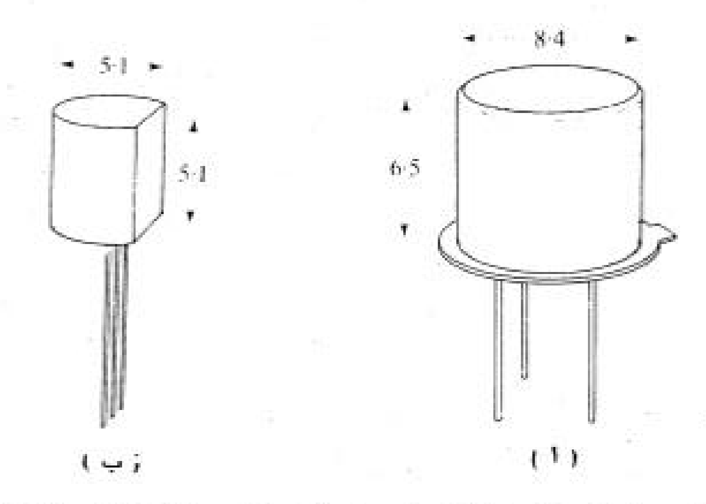
شكل ٩ — ١ رموز الترانزستور : (أ) س — م — س و (ب) م — س — م

هذا وسوف نناقش الاساليب الفنية للانتاج فى الفصل الثانى عشر . ولاسباب سوف تذكر فيما بعد ، تصنع منطقة قاعدة الترانزستور لكى يكون سمكها رقيقا بقدر الامكان ، فقد يصل هذا السمك ، مقاسا بين الباعث والمجمع . الى درجة من الصغر تعادل $0{\cdot}5\ \mu m$ وعلى سبيل المقارنة ، فلنذكر أن الطول الموجى للضوء الاخضر يعادل حوالى $0{\cdot}5\ \mu m$.

ويمكن وصف عمل الترانزستور بتعبيرين بسيطين ، اذ تؤدى منطقة الباعث دور الباعث لحاملات الشحنة التى تجمع أخيرا فى منطقة المجمع . وتقوم منطقة القاعدة بدور الالكترود الذى يتحكم فى قيمة تيار المجمع . ومن المعلوم ان فزيائية آلية توصيل التيار تتسم بالتعقيد ، وسيعطى شرح مبسط لها فى الفصل ٩ — ٣ .

] يمكن ان يرجع القارىء الراغب فى الحصول على معلومات تفصيلية الى كتاب Integrated Electronics تأليف Millman and Halkias
الناشر : McGraw-Hill.

ويتم تصنيع الترانزستورات فى مدى واسع من الاشكال الطبيعية الاساسية ، ثنان منها مبينان فى شكل ٩ — ٢ ففى شكل ٩ — ٢ [أ] يحكم اغلاق العلبة المعدنة التى تشبه شكل القبعة ،

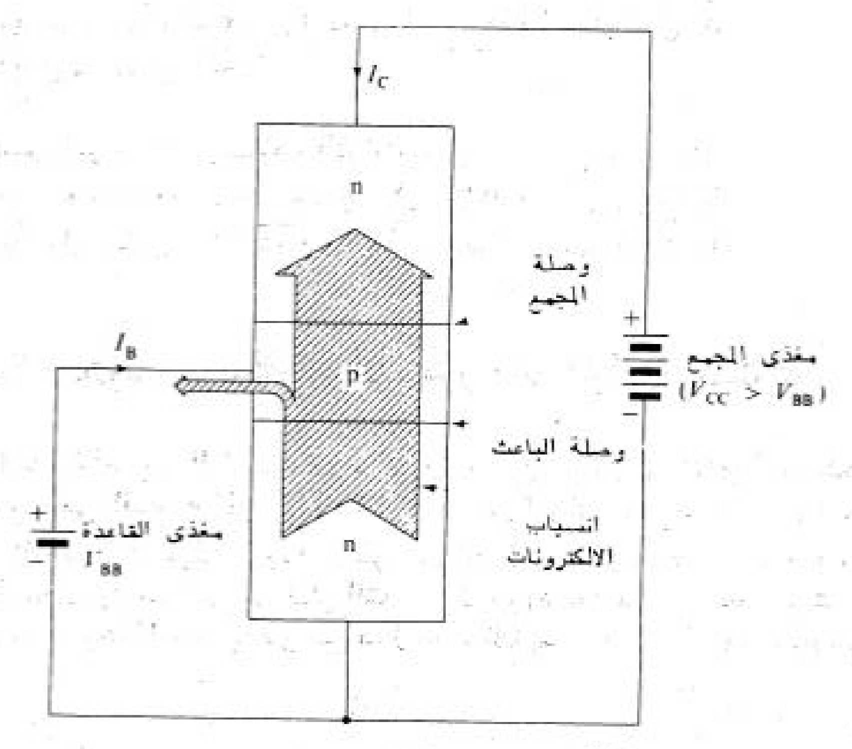


شكل ٩ — ٢ تربيطات الترانزستور [أ] علبة صغيرة طراز To-5 و [ب] احدى صور الكبسولة البلاستيك [جميع الابعاد بالمليمتر] .

ويمكن استخدامها فى مدى واسع من درجات الحرارة يتراوح عادة بين 55°C — الى 180°C . اما النوع الثانى ، شكل ٩ — ٢ [ب] ، على هيئة كبسولة البلاستيك ، فهو شائع جدا ويستعمل فى مدى واسع للمعدات الصناعية والمنزلية .

٩ — ٣ عمل وصلة الترانزستور

يمكن شرح عمل كل من وصلتى الترانزستور س — م — س والترانزستور م — س — م باستخدام فكرة تيار الانسياق وتيار الانتشار التى سبق الاشارة اليها فى الفصل الاول . وتعالج منطقتا الباعث والمجمع ، فى كلا النوعين من انواع الترانزستور باضافة مزيد من الشوائب لكى تكتسبا موصلية عالية . وتعالج منطقة القاعدة باضافة قليلة ، وتكتسب موصلية منخفضة القيمة . وسيخصص الوصف التالى لنوع الترانزستور س — م — س ، المبين فى شكل ٩ — ٣



شكل ٩ ــ ٣ توصيلة الباعث المشترك

ففى أحوال التشغيل العادية كعنصر تكبير ، تكون وصلة م ـــ س من القاعدة الى الباعث أمامية الانحياز . حيث توصل منطقة القاعدة من النوع ـــ م للقطب الموجب للبطارية V_{BB} . ويوصل الباعث من النوع ـــ س بالقطب السالب . وهكذا ، يحدث انسياب التيار بين منطقتى القاعدة والباعث . وبما أن منطقة الباعث معالجة باضافات من الشوائب الكثيرة ، فان الفرصة تصبح مهيأة تماما لانبعاث الالكترونات الى منطقة القاعدة . وحيث أن موصلية منطقة القاعدة منخفضة القيمة . فان عددا قليلا نسبيا من الالكترونات العابرة للوصلة يتمكن من الاتحاد مع العدد الصغير من الفجوات المتاحة القادرة على الحركة فى منطقة القاعدة . وكنتيجة لذلك ، يتواجد تركيز عال من الالكترونات فى القاعدة [حيث تعتبر حاملات الشحنة من الالكترونات هناك أقلية ويقوم مصـــدر الجهد V_{BB} بتعويض النقص فى الفجوات التى تكون قد اتحدت بالفعل مع الالكترونيات فى منطقة القاعدة نوع ـــ م ؛ مما يؤدى الى مرور تيار القاعدة للترانزستور .

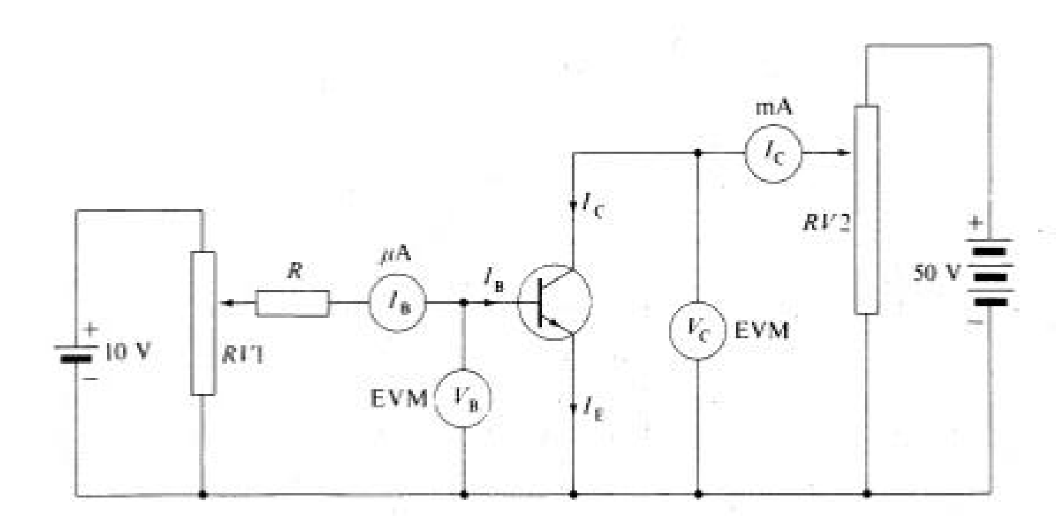
وتزيد قيمة جهد المجمع V_{CC} عادة عن جهد دائرة القاعدة V_{BB} مما يؤدى الى أن تصبح وصلة المجمع عكسية الانحياز ومع كل ذلك فان تركيز الالكترونات العالية ينجذب نحو الجهد الموجب المسلط على المجمع ، ويصل الى منطقة المجمع معظم هذه الالكترونات . وقد وجد : فى التطبيق العملى أن 98-99.9 فى المائة من عدد الالكترونات التاركة للباعث ، تصل فعلا

الى المجمع . ومن الممكن ان تتحسن كفاءة هذه العملية بان يتخذ سمك منطقة القاعدة قيمة صغيرة جدا .

ويمكن شرح عمل وصلات الترانزستور م ــ س ــ م على نفس الاسس السابقة مع مراعاة ان يتم توصيل كل من القاعدة والمجمع بالقطب السالب للبطارية وان تكون حاملات الشحنة المنبعثة والمجمعة من الفجوات .

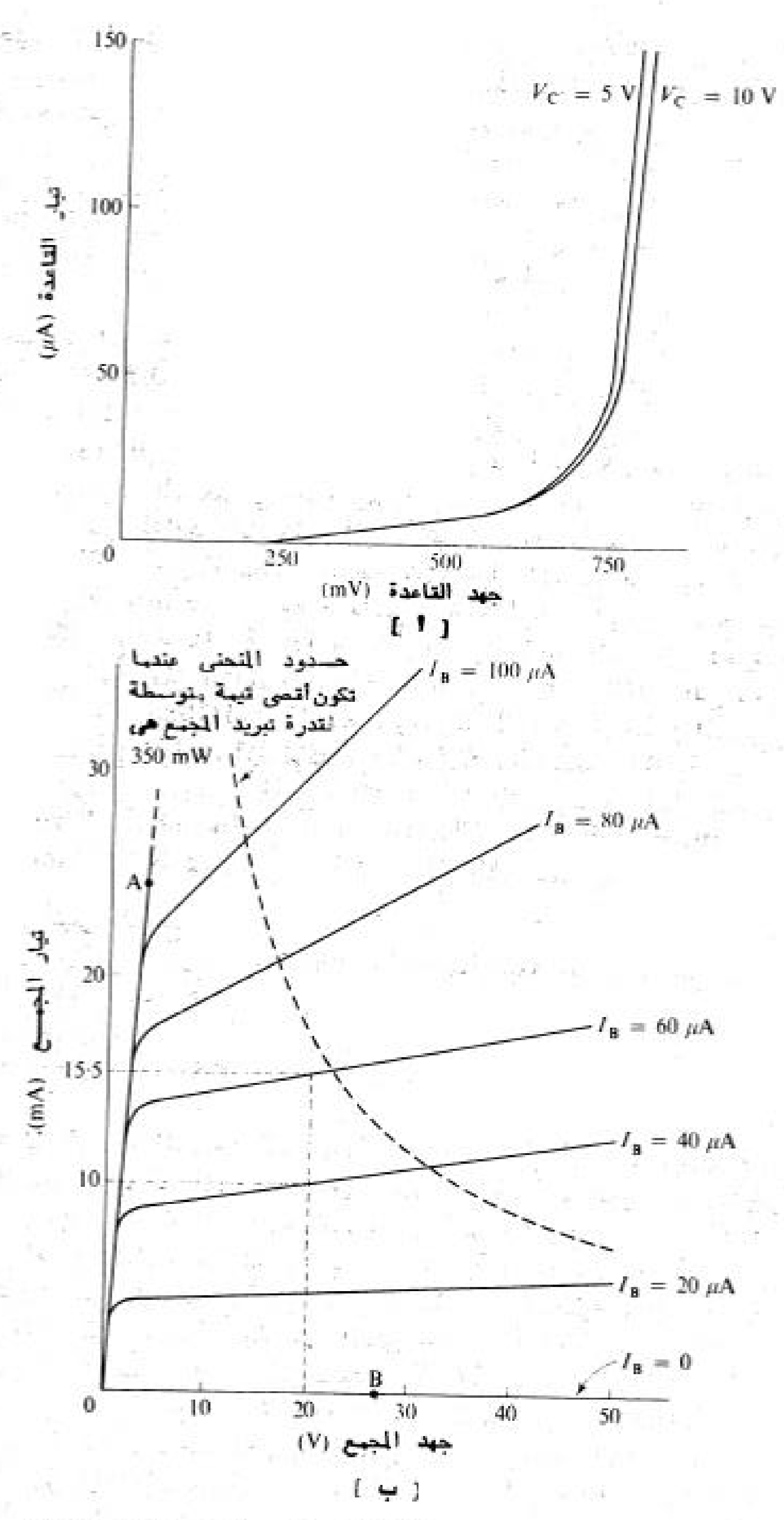
٩ ــ ٤ خواص وصلة الترانزستور ذات الباعث المشترك

يشترك الالكترود الباعث مع مصدرى كل من الدخل [القاعدة] والخرج [المجمع] فى الدائرة الموضحة بالشكل ٩ ــ ٤ والتى تعرف على انها تتخذ صورة الباعث المشترك . وتعين خواص الدخل [انظر شكل ٩ ــ ٥ [أ]] للنبيطة بأخذ قراءات لكل من تيار القاعدة I_B وجهد القاعدة V_B عند تثبيت جهد المجمع V_C . وهكذا ، توجد خواص دخل عند كل قيمة للجهد V_C ، ويوضح شكل



شكل ٩ ــ ٤ دائرة اختبار شائعة لتعين خواص الباعث المشترك لوصلة ترانزستور ثنائى القطب من النوع س ــ م ــ س

٩ ــ ٥ [أ] خواص الدخل عند قيمتين للجهد V_C . ومنطقة القاعدة ــ الباعث للترانزستور تشبه الوجهة الكهربية وصلة الدايود نوع م ــ س امامى الانحياز ، وخواص الدخل تشبه خواص الدايود فى طبيعتها . ويسبب عن زيادة جهد المجمع من 5v الى 10V جهة اليمين ، كما هو موضح بالشكل ، ازاحة صغيرة للمنحنيات المميزة وعموما تكون هذه الازاحة على درجة من الصغر تسمح باهمالها .



شكل ٩ ــ ٥ المنحنيات المميزة [أ] لدخل و [ب] خرج الباعث المشترك

تستخدم الفولتميترات الالكترونية المميزة بالحروف EVM فى شـــكل ٩ ــ ٤ لقيـــاس الجهود فى الدائرة حيث أن مقاومتها الداخلية كبيرة جدا (فى العادة ، اكبر من 10 M) وتسحب تيارا صغيرا جدا . وتعتبر السمة السابقة هامة على وجه الخصوص فى دائرة القاعدة ، لان قيمة تيار القاعدة قد تقع فى حدود بضع وحدات من الميكرو أمبير فقط . فاجهزة القياس بالملف المتحرك التقليدية تحتاج لكمية ملموسة من التيار فى العـــــادة 25 MA الى بضـعة mA حتى تعطى انحرافا عبر تدريج القياس .

تعين خواص الخرج او خواص المجمع بأخذ قياسات لكل من تيار المجمع I_C وجهد المجمع V_C (أنظر شكل ٩ ــ ٥ (ب)) ، على أن يرسم كل منحنى مميز للخرج عند قيمة ثابتة لتيار القاعدة . وتظهر خواص الخرج ان الزيادة فى تيار القاعدة تؤدى الى زيادة فى تيار المجمع . وهكذا . يمكن استخـــــدام تيار القاعدة كوسيلة للتحكم فى قيمة تيار المجمع . وعلاوة على ذلك يؤدى تغير معين فى تيار القاعدة الى تغير اكبر بكثير فى تيار المجمع . فعند جهد مجمع قيمته 20V فى الشكل ، تصبح قيمة تيار المجمع عند تيار قاعدة 40 µA مساوية 10 mA ، وعند نفس القيمة لجهد المجمع يصبح تيار المجمع 155 mA مع تيار قاعدة مقداره 60 µA، وفيما بين النقطتين المعنيتين يؤدى تغير فى قيمة تيار القاعدة مقداره 20 µA = (40 – 60) الى تغير قيمته 5.5 mA (15.5–10) لتيار المجمع . وتعرف النسبة بين هذين التغيرين فى التيار **بكسب تيار الباعث المشترك فى حالة الاشارة الصغيرة** للترانزستور ويخصص لها الرمز h_{fe} (لمعالجة أكثر شمولا للترانزستور انظر كتابى Industrial Electronics وايضا Advanced Industrial Electrics للمؤلف N. M. Morris والناشر Mc Graw-Hill. ومن ثم

$$h_{fe} = \frac{\text{التغير فى تيار المجمع}}{\text{التغير فى تيار القاعدة}} \quad \text{عند قيمة ثابتة لجهد المجمع}$$

$$= \frac{5.5 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 275$$

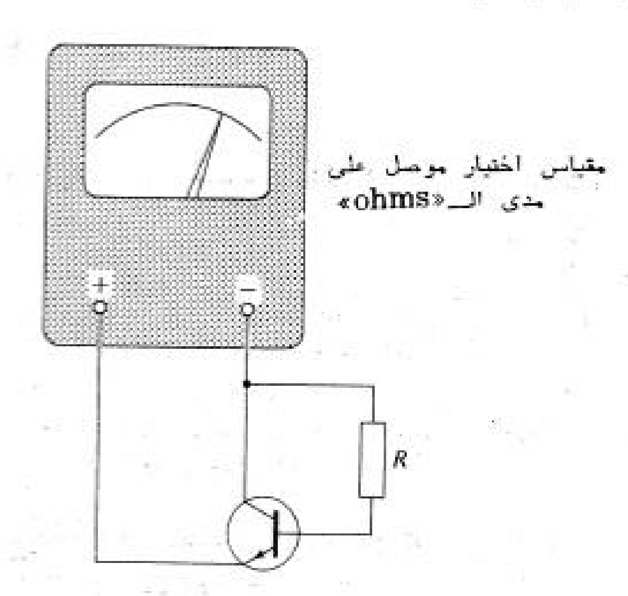
هذا وتشير القيمة المرتفعة للبارامتر h_{fe} الى ان الترانزســـتور حساس بالنسبة لتغيرات اشارة الدخل . وهى خاصية مرغوبة فى معظم التطبيقات . ومن الممكن ان تقع قيمة كسب التيار فى المدى من 20-900 حيث ترجع القيمة الاقل لوحدات ترانزستور القدرة وترجـــع القيمة الاعلى لوحدات الترانزستور المستخدمة فى تكبير الاشارات الصغيرة . وعلى سبيل المثال ؛ قد يقع مدى كسب التيار فى المدى من 20-70 ، بالنسبة لكبر قدرة من الترانزستور قادر على تبديد 120W . بينما قد يكون كسب التيار واقعا فى المدى من 400-900 ، بالنسبة لوحدة الترانزستور المستخدمة فى المكبرات ذات الكسب العالى . وفى الحالة الاخيرة ؛ قـد يكون من المحتمل أن تكون قيمة اقصى قدرة تستطيع النبيطة أن تبددها اقل من 0.4 W تقريبا .

وسيلاحظ القارىء ان المنحنيات المميزة للجمع يتباعد كل منها عن الاخر، كلما تزايدت قيمة جهد المجمع . وتعرف هذه الظاهرة باسم « التأثير المبكر » وتعود الى تناقص حقيقي فى عرض القاعدة كلما ازداد جهد المجمع . مما يؤدى الى زيادة كسب التيار . وفى الاحوال العادية ، يعتبر هذا الاثر غير ذى اهمية ، الا انه من الممكن ، فى بعض الاحوال ، ان يسبب تشوها فى اشارة الخـــرج .

وتتصف الدوائر ، التى تستخدم وحدات الترانزستور على صورة الباعث المشترك، بسمات تؤدى الى كسب تيار وكسب جهد وكسب قدرة بقيم على قدر كاف من الارتفاع وذلك بين دائرتى الدخل والخرج . وقد ادت هذه السمات الى ان اصبحت صورة الباعث المشترك اكثر توصيلات الترانزستور انتشارا

فعند انخفاض قيمة جهد المجمع ، فى العادة بين 0.2V و 0.5V ، يؤدى تسليط تيار قاعدة بقيم مستمرة فى التزايد ، الى ان يدفع الترانزستور للعمل فى حالة تشـــبع تمثلهـــا النقطة A فى شـــكل ٩ ــ ٥ | ب | فاذا انقص تيار القـــاعدة الى الصـــفر ، تتناقص قيمة تيـــار المجمع من الوجهـــة العملية ، الى الصفر ، ويقال ان الترانزستور اصبح فى حالة قطـــع ، تمثلها النقطة B فى شـــــكل ٩ ــ ٥ | ب | . وعنـــــد استخدام الترانزستور كمفتاح | نظر الفصل الحادى عشر | ، فانه يعمل عادة اما فى حالة تشبع او فى حالة قطـــع .

ويوضح شكل ٩ ــ ٦ طريقة بسيطة لاختبـــار الترانزستور باستعمال مقياس متعــــدد القياســـات . فعنـــد استخـــدام المقيـــاس على منوال «ohms» تستخدم البطارية الداخلية لجهاز الاختبار لقياس مقاومة الدائرة الخـــارجية ، بحيث يتصل القطب الموجب للبطارية الداخلية بطرف الجهاز

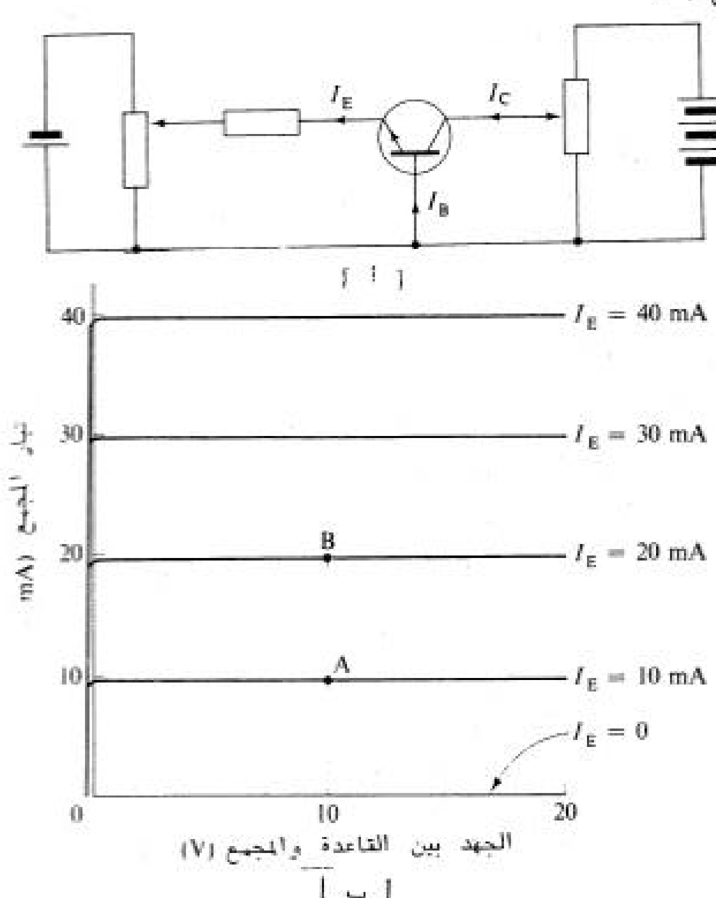


شكل ٩ ــ ٦ طريقة بسيطة لاختبار الترانزستور

عند علامة « — » بينما يتصل القطب السالب منها بطرف الجهاز عند علامة « + » [أنظر ايضا الفصل السادس عشر] . فاذا تم توصيل مقاومة R تقع قيمتها فى المدى ما بين 1 kΩ الى 10 kΩ بين القاعدة والمجمع لوحدة ترانزستور سليم . فان القراءة المألوفة للمقياس تنحصر فى المدى من 1·5 kΩ الى 5 kΩ وينبغى أن يشير الجهاز الى مقاومة مقدارها مالا نهاية اذا فصلت المقاومة R .

٩ — ٥ توصيلة القاعدة المشتركة

يوضح شكل ٩ — ٧ [أ] وصلة ترانزستور ثنائية القطب من النوع س — م — س فى التوصيلة ذات القاعدة المشتركة ، حيث يوصل الكترود القاعدة بالخط المشترك الذى يربط بين مصدرى الدخل [الباعث] والخرج [المجمع] .



شكل ٩ — ٧ [أ] دائرة اختبار لتعيين خواص توصيلة القاعدة المشتركة و [ب] مجموعة تقليدية لخواص خرج توصيلة القاعدة المشتركة

وعند فحص الدائرة ، يلاحظ أن كلا من تيارى المجمع والقاعدة ينساب فى دائرة الباعث من ثم ، يكون تيار الباعث

$$I_E = I_C + I_B \quad . \qquad ٩ — ١$$

وتتخذ خواص الخرج للترانزستور فى حالة القاعدة المشتركة ، بصفة عامة اشكالا تشبه المنحنيات الموضحة فى شكل ٩ — ٧ (ب) ، ومن هذه الخواص الموضحة ، نجد أن تيار القاعدة يساوى 40 µA أى 0.04 mA عندما تبلغ قيمة تيار المجمع 10 mA . وعند التعويض بهذه الارقام فى المعادلة (١ — ٩) نجد أن

$$I_E = 10 + 0.04 = 10.04 \text{ mA}$$

أى ان قيمة تيار المجمع تكاد تساوى بالتقريب ، قيمة تيار الباعث . وحيث أن تيار الباعث هو تيار الدخل للترانزستور وتيار المجمع هو تيار الخرج ، **فان كسب تيار القاعدة المشتركة فى حالة الاشارات الصغيرة** يكون

$$\frac{\text{تغير تيار الخرج}}{\text{تغير تيار الدخل}} = \frac{I_C \text{ التغير فى}}{I_E \text{ التغير فى}}$$

يتضح من الخواص المبينة فى شكل ٩ — ٧ (ب) ، أن تغيرا مقداره 10 mA فى قيمة تيار الباعث (من النقطة A الى النقطة B على المنحنيات) يحدث تغيرا اقل فى تيار المجمع ، وبالتالى تقل قيمة كسب التيار للقاعدة المشتركة قليلا عن الواحد . وتقع قيم كسب التيار المألوفة فى المدى من 0.98 الى 0.999 .

وبالنسبة لتطبيقات متعددة ، تتفوق سمات المكبرات ذات الباعث المشترك عن مثيلاتها فى المكبرات ذات القاعدة — مشترك . ومع ذلك ، تتخذ دوائر القاعدة مشترك عددا من السمات التى تضعها فى مرتبة اكثر ملائمة فى التطبيقات الخاصة والتى منها المكبرات عالية التردد .

٩ — ٦ توصيلة المجمع — المشترك

يكثر استخدام وحدات الترانزستور فى صورة المجمع — المشترك كمراحل المضادة بين الدوائر التى يوجد بينها اختلاف كبير فى قيم المعاونة . وسوف نسرد مزيدا من التعليقات فى الفصل الثالث عشر : حيث تعرض هذه الصورة بالتفصيل .

٩ — ٧ أقصى قدرة مبددة ومنحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطة .

القدرة الكلية المبددة P_{tot} بالترانزستور هى حاصل جمع القدرة المبددة فى كل من المجمع والقاعدة . وبالرجوع الى دائرة اختبار الباعث .

المشترك فى شكل ٩ ـــ ٤ ، تصبح القدرة الكلية المبددة فى الترانزستور هى

$$P_{tot} = V_C I_C + V_B I_B$$

وفى العادة ، تزيد قيمة $V_C I_C$ كثيرا عن قيمة $V_B I_B$ وغالبا ما نفترض ان قيمة P_{tot} هى $V_C I_C$. وقد رسم المنحنى الذى يناظر $V_C I_C = 350$ mW على المنحنيات المميزة للباعث المشترك فى شكل ٩ ـــ ٥ [ب] ويتضح من الرسم ان المنحنى يمر خلال النقطة $V_C = 10$ V و $I_C = 35$ mA والنقطة $V_C = 20$ V و $I_C = 17{\cdot}5$ mA ... الخ .

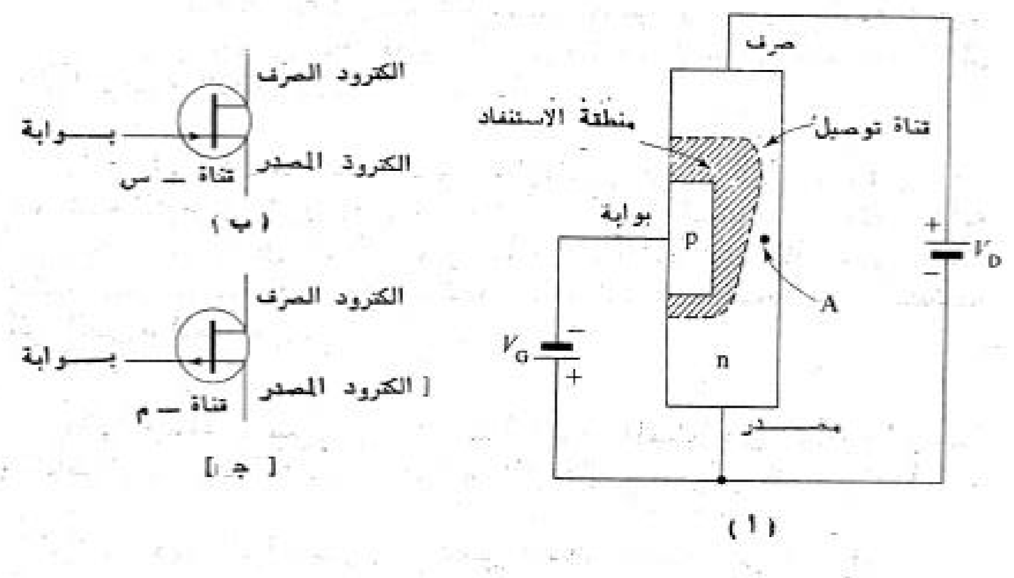
وعند درجات الحرارة المتزايدة يجب ان تنقص القدرة المبددة فى الترانزستور وتعطى المصانع منحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطة لوحدات الترانزستور والتى تشبه بصفة عامة المنحنيات الخاصة بالوصلات الثنائية [أنظر شكل ٨ ـــ ١٣] .

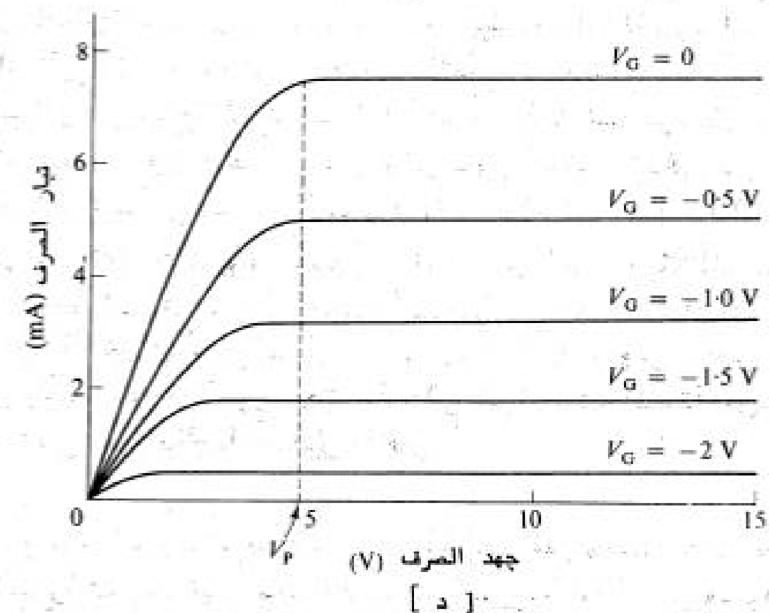
٩ ـــ ٨ ترانزستورات التأثير المجالى

يمكن اعتبار وحدات ترانزستور التأثير المجالى (FETS) ، فى معظم الاحوال ، وكأنها نبائط جهدية التشغيل ، حيث أن قيمة المعاوقة الداخلية ، كما فى ترتيبة المصدر المشترك [انظر شكل ٩ ـــ ٨] وعند ترددات التشغيل المعتادة ، تكون كبيرة بالدرجة التى لا تسحب معها ، من الناحية العملية ، اى تيار من مصدر الاشارة ـــ ويمكن تقسيم وحدات ترانزستور التأثير المجالى بصفة اجمالية ، الى طائفتين هما ترانزستورات التأثير المجالى ذوات البوابة الموصلة (JUGFETs) ترانزستورات التأثير المجالى ذوات البوابة المعزولة (IGFETs) او ترانزستور التأثير المجالى من أشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOSFET)

٩ ـــ ٩ ترانزستورات التأثير المجالى ذوات البوابة المواصلة

يمكن شرح فكرة عمل ترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة الموصلة بالرجوع الى شكل ٩ ـــ ٨ ، اذ تحوى النبيطة قضيبا او قناة ذات مقطع بانى [على شكل حرف ب] من المادة نوع ـــ س مع منطقة البوابة من المادة نوع ـــ م التى استنشرت بها . وبالتالى ، يعرف نوع ترانزستور التأثير المجالى الموضح فى الشكل بترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة الموصلة بقناة ـــ س وتكون الوصلة م ـــ س من البوابة ـــ الى القناة ، فى أحوال التشغيل المعتادة ، عكسية الانحياز ، وتمتد منطقة الاستنفاد الموضحة فى شكل ٩ ـــ ٨ [أ] داخل قناة التوصيل ذات النوع ـــ س . ويحدث انسياب التيار بين الكترودى المصدر والصرف عند نهايتى القناة .





شكل ٩ ـــ ٨ [أ] مقطع خلال ترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة الموصلةبقناة ـــ س رمز كل من [ب] قناة ـــ س و [جـ] قناة ـــم . [د] مجموعة المنحنيات المميزة لخرج نبيطة قناة ـــ س

وحيث أن ترانزستور التأثير المجالى فى شـــكل ٩ ـــ ٨ [أ] هو نبيطة بقناة ـــ س فان انسياب التيار يكون نتيجة لتحرك الالكترونات بين المصدر والصرف وبالتالى يوصل الكترود المصدر بالقطب السالب للبطارية .

يوضح شكل ٩ ـــ ٨ [ب] الرمز الاصطلاحى لدائرة ترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة الموصلة بقناة ـــ س ، ويبين الخط الذى يصل بين المصدر الصرف وجودة قناة توصيل طبيعية بينهما عندما تكون قيمة جهـــد البوابة مساوية للصفر ويوضح اتجاه السهم عند توصيلة البوابة ان وصلة البوابة

ــ الى ــ القناة تتشابه فى طبيعتها وصلة الدايود م ــ س الثنائية ، حيث يكون اتجاه السهم من المادة نوع ــ م الى المادة نوع ــ سى [كما هو الحال ايضا لوصلة الدايود م ــ س الثنائية] .

أما فى النبائط ذات القناة ــ م [انظر الرمز فى شكل ٩ ــ ٨ [جـ]] ، فان قناة التوصيل تتكون من مادة نوع ــ م . ويتم استنشار منطقة البوابة من نوع ــ س داخل القناة . وفى حالة النبائط ذوات القناة ــ م ، تكون قطبية المصرف سالبة . وتكون قطبية جهد البوابة موجبة . وذلك بالنسبة الى الكترود المصدر .

وتظهر القناة ــ سى من ترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة الموصلة أداءافضل من نبطية القناة ــ م عند الترددات العالية ويكثر استعمالها .

ان اكثر دوائر ترانزستورات التاثير المجالى شيوعا هى التى فى صورة **المصدر المشترك** . شكل ٩ ــ ٨ [أ] . حيث يوصل الكترود المصدر بالخط المشترك الواصل بين مصدرى الدخل والخرج . ويوضح شكل ٩ ــ ٨ [د] منحنيات خواص خرج المصدر ــ المشترك وتتواجد قناة توصيل بين المصدر والصرف عندما يكون جهد البوابة لترانزستور التاثير المجالى ذى البوابة الموصلة بالقناة ــ س مساويا للصفر [أنظر شكل ٩ ــ ٨ [د]] . وعند قيم جهد اقل من Vp [**جهد نهاية التغير**] يزداد تيار الصرف بانتظام معقول مع زيادة جهد الصرف . وفى هذه المنطقة من المنحنيات المميزة . يتصرف ترانزستور التأثير المجالى كما لو كان مقاومة خطية . وفى بعض الدوائر ، تستخدم وحدات ترانزستور التاثير المجالى فى هذه المنطقة من المنحنيات وتوصف على انها **مقاومات تأثير التغير** .

ويصبح تيار الصرف ثابتا على وجه التقريب غير معتمد فى قيمته على جهد المنبع وذلك بعد قيمة معينة لجهد الصرف Vp . ويعود السبب فى تغير شكل المنحنيات المميزة لما يلى . فمع جهد للبوابة يساوى الصفر . واذا كانت قيمة جهد النقطة A فى القناة [أنظر شكل ٩ ــ ٨ [أ]] 4V+ بالنسبة للمصدر . فان الوصلة م ــ س بين البوابة والقناة تصبح عكسية الانحياز بقيمةقد رها 4V وتتواجد منطقة استنفاد عند الوصلة . فاستمرار زيادة جهد الصرف يؤدى الى زيادة جهد النقطة A . ومعها . يزداد عمق منطقة الاستنفاد ويؤدى ذلك . بدوره . الى انقاص عرض قناة التوصيل

وفى النهاية . يتم الوصول الى النقطة التى تكون عندها منطقة الاستنفاد تكاد تمتد عبر عرض القناة الكلى لتضيق من مسار التيار الى غشاء [فيلم] رقيق . ويحدث هذا عندما تتساوى قيمة جهد الصرف مع جهد نهاية التغير

Vp . ولن يستطيع تيار الصرف أن يستمر فى الزيادة بعد الوصول لهذه القيمة من جهد الصرف .

فاذا ما تم تسليط الجهد ، V_G ، على البوابة بحيث تكون الوصلة من البوابة — الى — المصدر عكسية الانحياز ، اى ، بتسليط جهد سالب لقناة — سى لترانزستور التأثير المجالى ، فان بداية جهد نهاية التغير تحدث عند قيمة اصغر لتيار الصرف . فاذا كانت قيمة V_G كبيرة بدرجة كافية ، فمن الممكن ان تسبب قطعا تاما لتيار الصرف . ولهذا ، يصبح من الممكن استخدام ترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة الموصلة كمفتاح الكترونى .

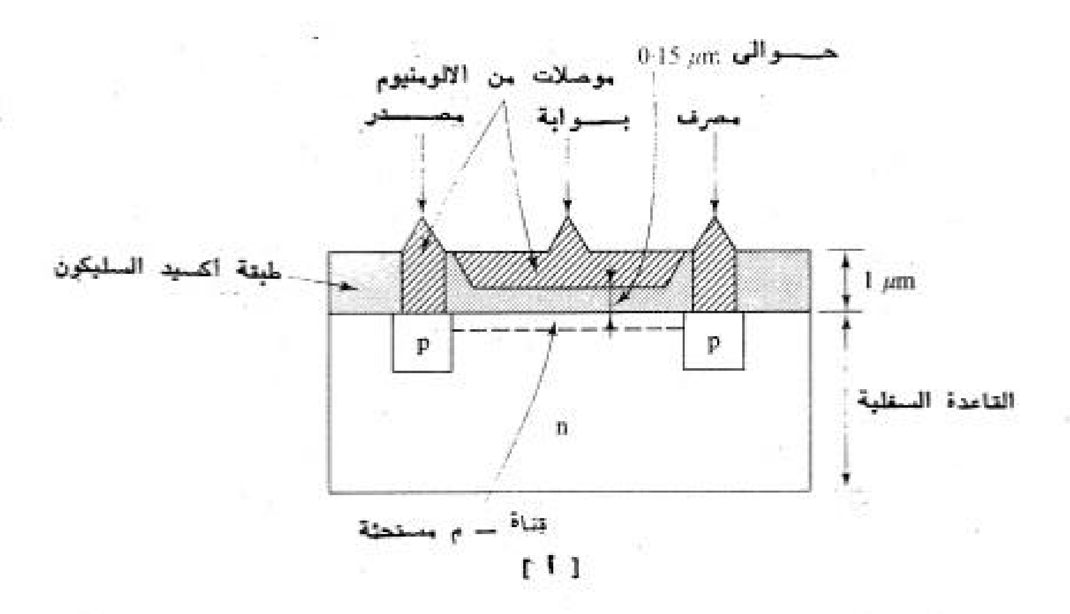
ويعرف ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة الموصلة سابق الذكر على انه نبيطة استنفاد ، حيث أن زيادة جهد البوابة تقلل او تستنفد قيمة تيار الصرف .

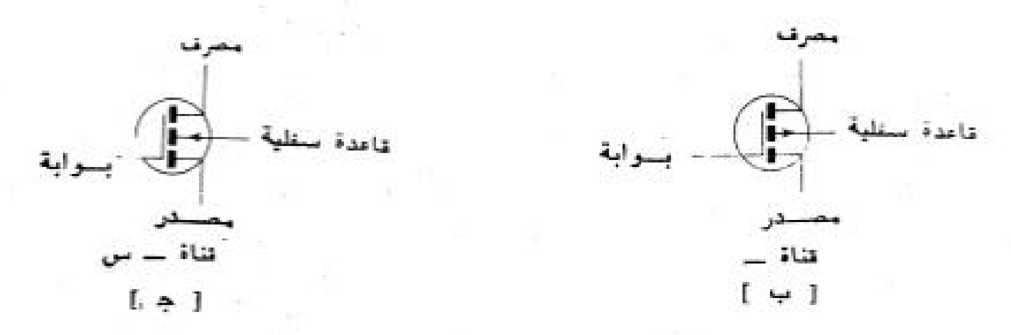
تبدو دائرة الدخل بين البوابة والمصدر لترانزستور التأثير المجالى وكأنها دايود عكسى الانحياز ، وذلك عند ترددات الاشارة المنخفضة . وبمعنى آخر ، فانها تبدو كمقاومة ذات قيمة عالية جدا ، وذلك بالنسبة الى الدائرة الخارجية تقع عادة بين $10^9\ \Omega$ الى $10^{11}\ \Omega$. ويعتبر اداء وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذات البوابة الموصلة ، عند الترددات العالية ، اقل جودة ، بصفة عامة ، عن وصلات الترانزستور ثنائية القطب . ويرجع هذا ، اساسا الى التأثير السعوى المقترن بالانحياز العكسى من البوابة — الى الوصلة لدايود الدخل . لذا ، يكثر استخدام وحدات الترانزستور ثنائية القطب فى دوائر الترددات العالية جدا . ونظرا للقيمة العالية جدا لمعاوقة دخل وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذوات البوابة الموصلة ، عند الترددات السمعية ، فقد حلت محل وصلات الترانزستور ثنائية القطب ، بالنسبة للدوائر التى تصبح القيمة العالية لمعاوقة الدخل أمرا حيويا ، كما فى حالة الاجهزة الالكترونية على سبيل المثال .

وتستخدم ايضا ترانزستورات التأثير المجالى ذوات البوابة الموصلة فى صورة بوابة مشتركة وفى صورة مصرف — مشتركة ، علما بأن الصورة الاخيرة سوف تناقش فى الفصل الثالث عشر .

٩ — ١٠ ترانزستورات التأثير المجالى ذوات البوابة المعزولة

يختلف تركيب ترانزستورات التأثير المجالى ذوات البوابة المعزولة عن تركيبة وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذوات الموصلة من حيث أن منطقة البوابة تكون معزولة كهربائيا عن قناة التوصيل . يوضح شكل ٩ — ٩ [أ] مقطعا فى قناة — م لترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة المعزولة . وسوف يلاحظ القارىء



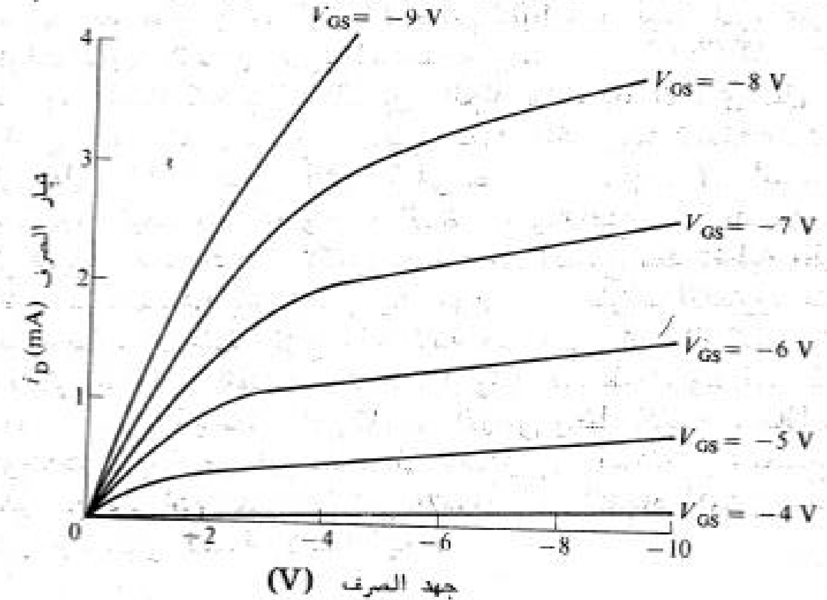


شكل ٩ ـ ٩ [أ] مقطع فى تركيبة قناة ـ م اشباه الموصلات الاكس معدنية . رمز لـ [ب] ترانزستور التاثير المجالى من اشباه الموصلات الاكس معدنية ذو قناة ـ م [جـ] ترانزستور التاثير المجالى من اشباه الموصلات الاكس معدنية ذو قنـاة ـ س .

ان الكترود البوابة ، والذى يتخذ شـكل طبقة من الالومنيوم ، يعزل عن قناة التوصيل فى المادة بواسطة طبقة رقيقة جدا من اكسيد السليكون ، « الزجاج » ويكون كل من الكترودى الصرف والمصدر على شكل دلوين من المادة نوع ـ م المستنشرة فى القاعدة السفلية من نوع ـ س .

ويعزل المصدر عن الصرف عندما تساوى قيمة جهد البوابة ـ الى ـ المصدر الصفر ، بحيث يصبح انسياب التيار بينهما مستحيلا . فاذا ما تم تسليط جهد سالب على الكترود البوابة ، تنجذب حاملات الشحنة ذات الاقلية نوع ـ م من القاعدة السفلية نحو الجانب السفلى من الطبقة الاكسيدية والتى تقع تحت الكترود البوابة مباشرة . وعند قيمة معينة لجهد البوابة يعرف باسم **جهد العتبة** V_T ، يكون عددا كافيا من حاملات الشحنة نوع ـ م قد تراكم اسفل الكترود البوابة ليكون قناة توصيل بين المصدر والصرف وقد وضحت كقناة مستحثة من نوع ـ م فى شكل ٩ ـ ٩ [أ] . وتقع قيمة الجهد V_T بين 2V ـ 5V ـ . فاذا زادت القيمة السالبة لجهد البوابة

عن V_T ، تزداد قيمة تيار الصرف ويوضح شكل ٩ ــ ١٠ مجموعة تقليدية لخواص ترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة المعزولة بالقناة ــ م .



شكل ٩ ــ ١٠ المنحنيات المميزة لخروج دائرة مصدر مشترك فى ترانزستور التأثير المجالى ــ من اشباه الموصلات الاكسى معدنية ذى القناة ــ م على النسق التدعيمى .

وتعرف مثل هذه النبيطة على انها ترانزستور التأثير المجالى ذات النسق التدعيمى ، حيث تؤدى زيادة جهد البوابة الى زيادة أو تدعيم لتيار الصرف

وسيلاحظ القارىء انه بالنظر الى أن قناة ــ م قد استحدثت فى النبيطة تحت الاعتبار ، فان الفجــوات تستخــدم كحــاملات للشحنة بين المصدر والمصرف . وبالتالى ، يوصل الكترود المصدر بالقطب الموجب للمصــدر وتوصل المصرف بالقطب السالب .

وتصنع حاليــا ترانزستورات التأثير المجالى ذات البوابة المعزولة بالقناة ــ س ، الا أن تكنولوجية تصنيع نبائط القناة ــ م تعتبر اكثر تقدما وكنتيجة لذلك ، يشيع استعمال النوع الاخير بدرجة اوسع . هذا وتعتبر الالكترونيات الرقمية مجالا اساسيا لاستخدام وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذوات البوابة المعزولة .

سيلاحظ القارىء ايضا من شكل ٩ ــ ٩ [أ] ، ان الجزء بين البوابة والقناة يتكون من تركيبة معدن ــ أكسيد ــ شبه موصل . ومن هذا تعرف وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذوات البوابة المعزولة ايضا باسم وحدات ترانزستور التأثير المجالى من أشباه الموصلات الاكس معدنية .

وحيث أن طبقة الاكسيد فوق بوابة ترانزستورات التأثير المجــالى من أشباه الموصلات الاكس معدنية تكون رقيقة جدا ، لذلك فمن الممكن أن يتلف

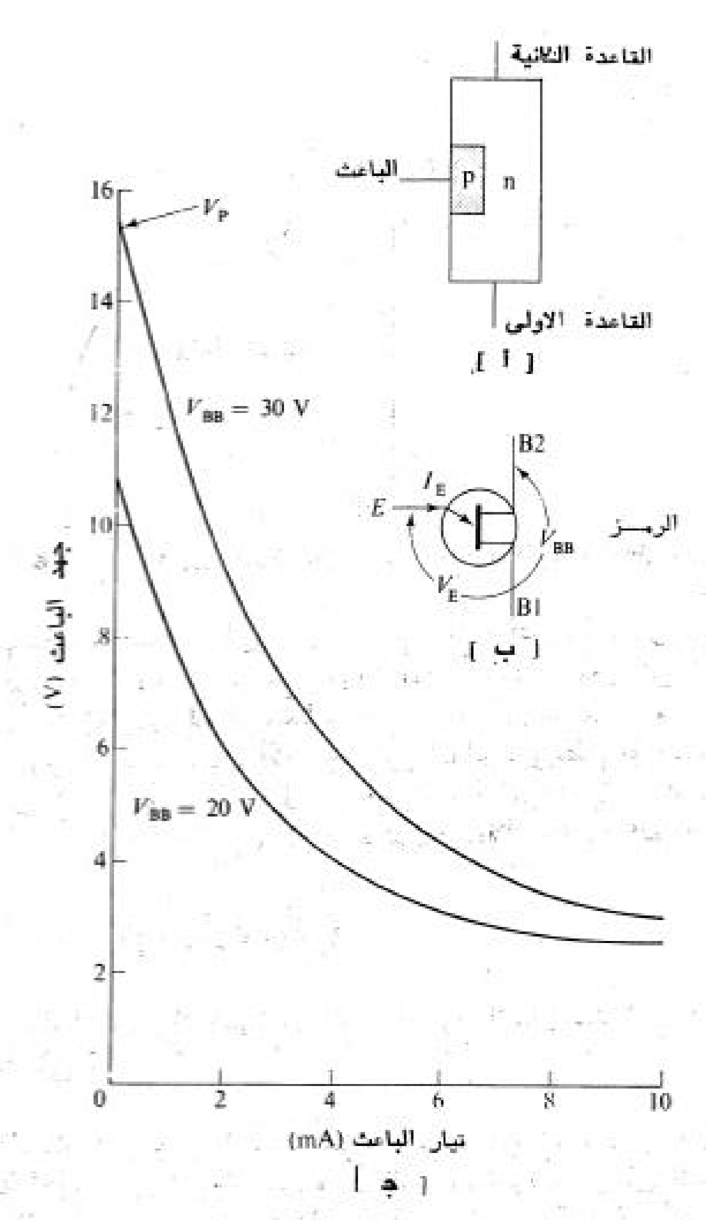
نهائيا عند تسليط جهد منخفض نسبيا عليه. وتقع القيمة المعتادة لجهد الانهيار فى المدى ما بين 30V الى 100V هذا ومن الممكن تسليط مثل هذا القـــدر من الجهد ببساطة من التداول الشخصي للنبطية ، فليس امرا غير مألوف أن يتراكم فوق الانسان جهود استاتيكية يزيد عن 20 000 V . اذ يمكن توليد جهود استاتيكية بالاحتكاك بين الجلد والاشياء الاخرى مثل الملابس والمواد ومنضدة العمل ، الخ . فحتى مفعول المشى يولد شحنة استاتيكية . وعلاوة على ذلك، تختزن الشحنة فى جسم الانسان ، لان الجسم يكون معزولا عن الارض بالحذاء وغطاء الارض . وكقاعدة عامة تشحن جميـــع نبائط اشباه الموصلات ـــ الاكس معدنية من المصنع بعد تغطية اطرافهـــا بمطاط موصل بمـــادة بلاستيك بحيث تكون جميع أطراف الالكترود عند نفس الجهد تقريبا . ولا ينبغى نزع هذه المادة حتى يتم تركيب النبائط فى الدائرة وفى بعض الدوائر المنطقية ، توصل البوابة عن طريق وحدات الدايـــود عكسية الانحياز بطبيعتها ، الى كل من الارض وخط التغذية . فاذا حـــدث وان وصلت البوابة عن غير قصد الى مصدر جهد استاتيكى ، يصبح واحدا او اكثر من وحدات الدايود امامى الانحياز فى الاتجاه الامامى مما يؤدى الى تفريغ مصدر الطاقة الاستاتيكية .

٩ ـــ ١١ ترانزســتور احـــادى التوصـيل

لا يعتبر الترانزستور احادى التوصيل ، بصفة قاطعة ، كترانزستور ولكنه دايود مزدوج القاعدة . ويمكن شرح فكرة عمل النبيطة بالرجوع الى شكل ٩ ـــ ١١ ويوضح الرسم [أ] من هذا الشكل احدى صـــور تركيبة الترانزستور اذ يتكون من قضيب من مادة اشباه الموصلات نوع ـــ س مـــع وصلة م ـــ س فى اتجاه مركز القضيب وتعرف المنطقة ـــ بباعث الترانزستور احادى التوصيل . وتعرف التوصيلتين الى نهايتى القضيب بالقاعدة الاولى (B1) والقاعدة الثانية (B2) ، على التوالى وفى حالة عدم وجود اشـــارة عند الباعث ، تقع قيمة **المقاومة فيما بين القاعدتين** R_{BB} **بين** B1 و B2 فى المدى من $4\ k\Omega$ الى $12\ k\Omega$. ويعرف الجهد بين B1 و B2 **بالجهد فيما بين القاعدتين** V_{BB} وتقع قيمة الجهد المقاس بين B1 ونقطة دخول الباعث فى القضيب بين $0{\cdot}4V_{BB}$ و $0{\cdot}8V_{BB}$ ويعرف معامل V_{BB} المعطى عاليه **بالنسبة الذاتية المباعدة ورمزها** η .

وعندما تقل قيمة جهد الباعث V_E عن ηV_{BB} ، تكون الوصلة م ـــ س بين الباعث والقضيب عكسية الانحياز ، ولا يمر فى الباعث سوى تيار تسرب ضئيل جدا . وعند زيادة جهد الباعث الى النقطة التى تصبح عندها الوصلة م ـــ س امامية الانحياز ، تقل المقاومة بين الباعث و B1 الى قيمة منخفضة. ويعرف هذا الجهد فى هذه الحالة بجهد النقطة الذروية V_P ، والذى يوضحه شكل ٩ ـــ ١١ [جـ] على منحنى الخواص . ويبين الشكل ايضا الخواص عند قيمتين للجهد V_{BB} وفى كل حالة .

$$V_P \simeq \eta V_{BB}$$

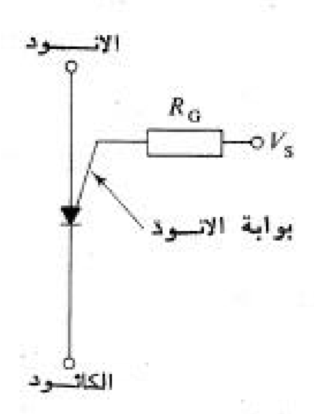


شكل ٩ ــ ١١ الترانزستور احادى التوصيل [أ] احدى صور التركيب ، [ب] رمز الدائرة و [جـ] منحنيات الخواص الاساسية

يستخدم الترانزستور احادى التوصيل بكثرة كمكثف تفريغ وفى الدوائر الميقاتية وفى مولدات النبضات [انظر ايضا الفصل الثالث عشر] .

٩ ــ ١٢ الترانزستور احادى التوصيل القابل للبرمجة (PUT)

فى الحقيقة ، ليس الترانزستور احادى التوصيل القابل للبرمجة ، نبيطة اخرى من النوع الموضح عاليه فى الفصل ٩ ــ ١١ ، ولكنه ثايرستور منخفض القدرة يستخدم للاغراض العامة [انظر ايضا الفصل الخامس عشر] ، وتشبه خواص هذه النبيطة بصفة اجمالية الخواص الموضحة فى شكل ٩ ــ ١١ . وعند مقارنته بالترانزستور احادى التوصيل التقليدى فانه يعطى عدة مميزات تشمل امكانية تغير قيمة η [اى قابل للبرمجة] ، وتيار تسرب منخفض القيمة وجهد انهيار مرتفع القيمة .



شكل ٩ — ١٢ رمز دائرة الترانزستور احادى التوصيل قابل للبرمجة .

يوضح شكل ٩ — ١٢ الرمز المستخدم لدائرة الترانزستور احادى التوصيل القابل للبرمجة . ويشترك مع انواع نبائط الثايرستور فى انه نبطية من اشباه الموصلات ومن اربع طبقات نوع م — س — م — س ، وان التيار فى حالة مروره ينساب من الانــود الى الكاثود ويحكم او يبرمج مقــدار الجهد الانود الذى يبدأ التوصيل عنده بواسطة الجهد V_S المسلط على بوابة الانود . وبهذه الكيفية ، يمارس التحكم من خلال القيمة الفعالة

٩ — ١٣ نظــم ترقيم النبيطه

توجد أنظمة كثيرة لترقيم نبائط أشباه الموصلات وستوضح النظم الاساسية منها فيما يلى :

كان النظام الاوروبى القــديم مبنيــا على الصمام الترميونى وتعبر المجموعة الاولى من الارقام عن جهد المسخن ، وبالنظر لان اشباه الموصلات لا تحتاج الى تسخين ، فالقيمة المعطاة لهذه المجموعة ينبغى أن تكون صفرا .

ويوضح نوع النبيطة بالحروف الابجدية — «A» للدايود [صمام ثنائى] ، C للصمام الثلاثى ... الخ . توجد ايضا حروف اضافية مثل «P» للتأثير الضوئى او لنبائط الاشعاع الحساسة للضوء و «R» للمقاومة الضــوئية للمواد شبه الموصلة ... الخ . هذا ويعطى المجموعة الاخيرة من الارقام رتبة تسجيل النبيطة . وهكذا ، فان OC 28 هى نبيطة صمام ثلاثى شــبه موصل ؛ أى ترانزستور برقم تسجيلى 28 .

اما النظــام الاوروبى الحــديث أو نظــام بروالــكترون

PRO Electron System فان النبائط تعرف بحرفين يعقبهما اعداد مسلسلة وقــد تتكون الاعداد المسلسلة من ثلاثة ارقام او من حرف واحد ورقمين ويفسر الحرفين الاولين كما يلى :

فالحرف الاول يشير الى نوع المادة المستخدمة :

A ــ جرمانيـــــوم
B ــ ســـــليكون
C ــ زرنخيد الجاليوم
D ــ أنتيمونيد الانديوم
R ــ نبائط لا تحتوى على وصلة مثل خلية المقاومة الضوئية .

ويوضح الحرف الثانى التطبيقات العامة للنبائط :

A ــ دايود اشـارة
B ــ دايود متغير الســـعة
C ــ ترانزستور ترددات سمعية منخفض القـــدرة
D ــ ترانزستور قدرة للترددات السمعية
E ــ وصلة ثنائية نفقية
F ــ ترانزستور ترددات اللاسلكى (راديو) منخفض القدرة
G ــ نبائط متعددة غير متشابهة
L ــ ترانزستور قدرة للترددات اللاسلكية
N ــ رابط ضــوئى
P ــ نبيطة حساسة للاشعاع .
Q ــ نبيطة توليد الاشعاعات أى دايود الانبعاث الضوئى
R ــ نبيطة تحكم منخفضة القدرة
S ــ ترانزستور ايصال ــ فصل منخفض القدرة
T ــ نبيطة لايصال ــ فصل منخفض القدرة
U ــ ترانزستور قدرة لايصال ــ فصل
X ــ دايود مضـــاعف
Y ــ دايود قـــــدرة
Z ــ دايود زينار

وتحوى الاعداد المسلسلة ثلاثة ارقام، أى BC147 و BF194 عندما يقصد استخدام النبائط للاغراض الاستهــــلاكية أى الراديو والتليفزيون والمعدات السمعية . . . الخ . أما عندما يقصد استخدام النبائط فى الصناعة والاعمال المتخصصة وفى معدات الارسال ، فانها تعرف برقم مســلسل يتكون من حرف واحد ورقمين مثل BFX30 و BSS27 .

ويهيىء نظام البروالكترون ايضا وسيلة لتعريف المجموعات الفرعيـــة باضافة عدد مسلسل آخر بحيث يفصله عن العدد الرئيسى الاول شرطه . فعلى سبيل المثـــال ، تعرف النبيطة تحت رقم BTY79-600R على انها ثايرستور سليكونى ، تحت رقم تسجيل Y79 ، قيمة اقصى ذروة للجهــد العكسى المتكرر هى 600V . ويشير الرمز «R» الى التوصيلة العكسية للنبيطة أى أن النتوء هو انود الثايرستور .

وترقم معظم نبائط اشباه الموصـــلات الامريكية تبعا لنظـــــام **JEDEC** [المجلس المشترك لمهندسى النبائط الالكترونية] . وفى هذا النظام يعطى الرقم الاول عدد الوصلات م ـــ س فى النبيطة اى «**1**» للدايـــود ، «**2**» للترانزستور النقليدي ثنائى القطب و «**3**» للثايرستور ولترانزستور الباعث المزدوج ... الخ. ويتبع هـــذا الرقم الحرف «**N**» ثم رقم التسجيل . فالنبيطة التى أرقامها **2N2927** هى ترانزستور ذو وصلتين ثنائيتين ، وكان قد سجل برقم **2927** .

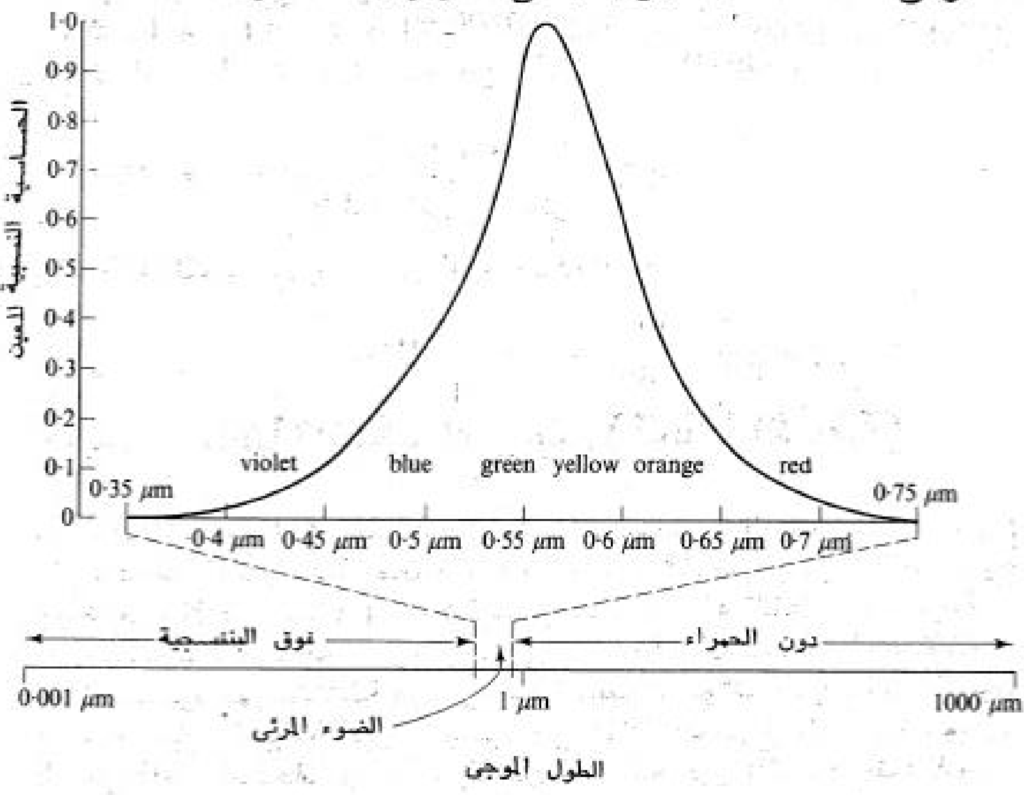
الفصـــل العــاشر

الألكترونيات الضوئية

يطلق اسم الالكترونيات الضوئية على عدد كبير من النبائط الحساسة للضوء [ولاشعاعات اخرى] ، ونبائط الانبعاث الضوئى [اى نبائط مشعة للضوء واشعاعات اخرى قريبة من الاشعاعات المرئية] .

١٠ ـ ١ الطيف الكهرومغناطيسى المرئى

تشترك كل من الاشعة الضوئية واشعة الراديو والتليفزيون واشعة اكس والاشعة الكونية فى انها جميعا اشعاعات كهرومغناطيسية . ويمتد الطول الموجى للضوء المرئى من حوالى 0.35 m [بنفسجى] الى حوالى 0.75 m [أحمر] كما فى شكل [١٠ ـ ١] .



شكل ١٠ ـ ١ قطاع يوضح العلاقة بين طيف الاشعاع والحساسية النسبية لعين الانسان

وتعرف الاطوال الموجية الاقصر من 0.35 m بالاشعاعات فوق البنفسجية وتعرف الموجات الاطول من 0.75 m بالاشعاعات دون الحمراء .

العين ، كما هو الحال مع الكواشف الاخرى للاشعاعات ، غير متساوية الحساسية بالنسبة لجميع الترددات وهى أكثر حساسية للون الذى يبلغ طوله الموجى حوالى 0.55 m ويوضح شكل [١٠ — ١] المنحنيات التى تبين حساسية العين التقريبية للاشعاعات الواقعة فى الطيف المرئى .ويستطيع اللون الذى نراه حقيقة فى بعض اللحظات ان يخدعنا . ولنأخذ فى الاعتبار حالة مصباح فتيلة التانجستون المتوهجة ، حيث يشمل خرج هذا النوع من المصابيح كل الاطوال الموجية المرئية ولكن معظم قدرة الخرج تقع فى المناطق الحمراء او دون الحمراء والاخيرة غير مرئية . وتقوم العين بالدور الذى يؤدى الى اخراج حل وسط ، لذلك يظهر المصباح للانسان بلون فى منطقة الاصفر — احمر من الطيف .

وتقع اكبر استجابة لبعض انواع كاشفات الاشعاع فى المنطقة دون الحمراء وتستخدم حيث تكون هذه الخاصية ذات فائدة ، وعلى سبيل المثال فى نظم كشف اخفاق شعلة الغلاية وفى نظم الانذار ضد السرقات وفى الطيران وفى نظم الصواريخ الموجهة .

ان السرعة التى تتحرك بها الموجات الكهرومغناطيسية فى الفراغ هى 3×10^8 m/s [او 1800 miles/S] وتقترب جدا من $\frac{1}{3}$ m/μs (1 ft/μs) ويمكن الحصول على تردد الاشعاع بالهرتز من المعادلة

$$\text{التردد} = f = \frac{3 \times 10^8}{\text{الطول الموجى بالمتر}} \text{ هرتز}$$

وكمثال ، التردد لطول موجى قدره 0·75 μm هو

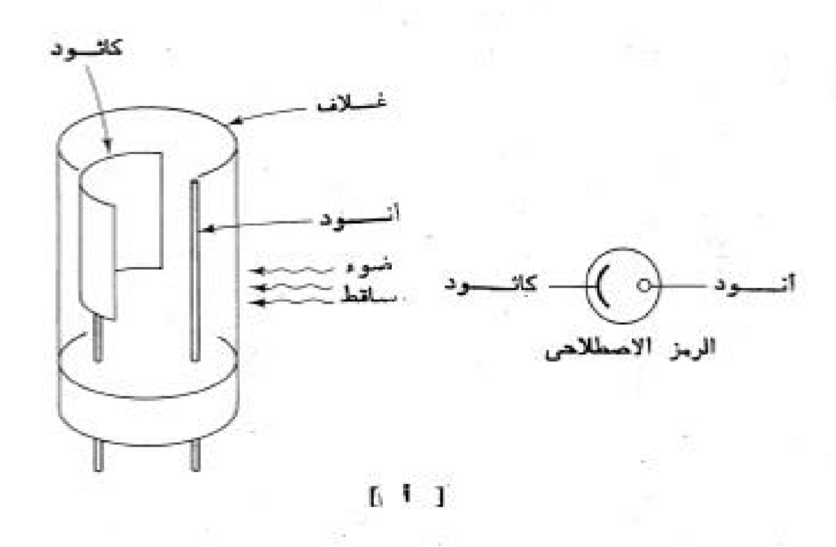
$$f = \frac{3 \times 10^8}{0{\cdot}75 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

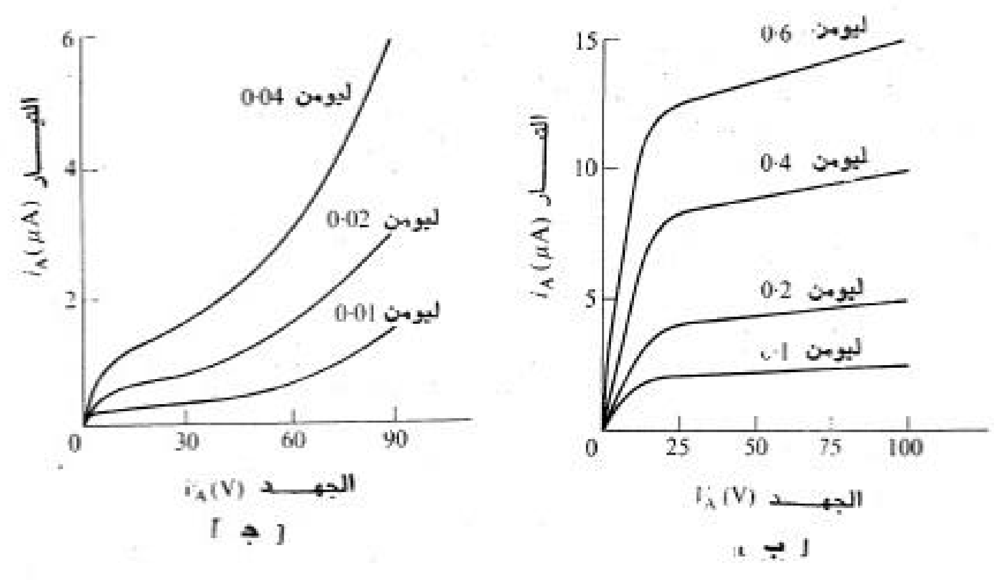
١٠ — ٢ خلايا الانبعاث الضوئى (الخلايا الضوئية)

للخلية الباعثة لالكترونات تحت تأثير الضوء او للصمام الضوئى ، كاثود يبعث الالكترونات بطلاقة ، عند تعرضه لاشعاع بالتردد الصحيح ويوضح شكل ١٠ — ٢ [أ] تركيب واحدة من هذه الخلايا الضوئية . وللكاثود مساحة كبيرة لكى يستقبل الاشعة الساقطة ، أما الانود فهو ببساطة عبارة عن قضيب . يتوقف التردد الذى تصبح عنده استجابة النبيطة أكبر ما يمكن على المادة المصنوع منها الكاثود . فلبعض المواد استجابة طفيفة قريبة من استجابة عين الانسان بينما للبعض الاخر فائدة اكثر فى المنطقة دون الحمراء .

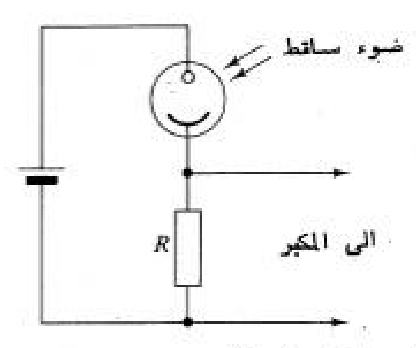
ويتم تشغيل الخلية بجهد موجب للانود كما هو موضح فى شكل ١٠ ــ ٢ وتجمع الالكترونات المنبعثة من الكاثود المعرض للضوء بواسطة الانود . ويؤدى اى تغير فى شدة الاضاءة الى تغير التيار المنساب خلال الخلية . ويؤدى هذا بدوره الى تغير الجهد بين طرفى المقاومة R ، ويكبر هذا الجهد بدائرة الكترونية مناسبة ليعطى اشارة مرتبطة بشــدة الاضاءة .

ويوضع الكاثود والانود داخل غلاف من الزجاج او الكوارتز ، قد يكون مفرغا او ممتلئا بالغــاز .





شكل ١٠ ــ ٢ [أ] احدى صور الخلايا الضوئية . المنحنيات المميزة فى [ب] للصمامات المفرغة وفى [جـ] للصمامات المملوءة بالغاز .



شكل ١٠ ــ ٣ دائرة تستخدم خلية ضوئية .

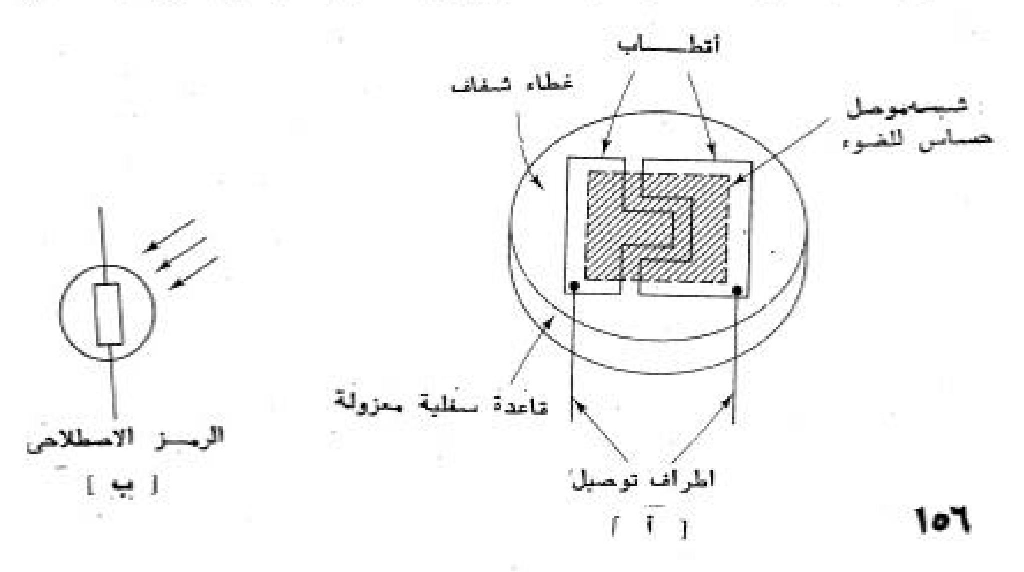
تكبر حساسية الخلايا الغازية ، بالنسبة للاشعة الضوئية ، حساسية الخلايا المفرغة بحوالى سبع الى تسع مرات ، وتبدأ الحساسية النسبية للخلايا الغازية فى الانخفاض بمعدل سريع عند تغير اعلى من حوالى 2 KHz لتردد الضوء . ويوضح شكلا ١٠ ــ ٢ [ب] و [ج] ، الخواص الاستاتيكية لخليتين ضوئيتين متماثلتين ، احداهما غازية والاخرى مفرغة .

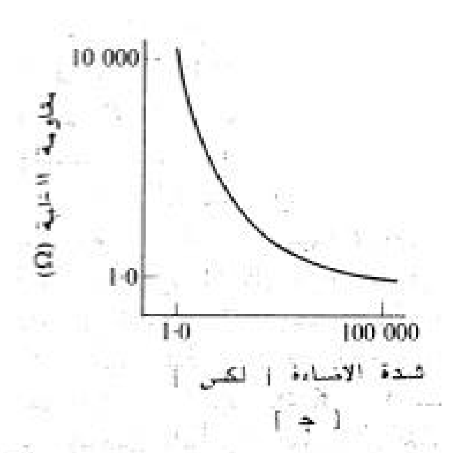
وعند هذا الحد . يجب الا نغفل ذكر شىء عن وحدات الاضاءة فالفيض الضوئى هو كمية الطاقة الكلية للاشعة الضوئية المرئية المنبعثة من مصدر ضوئى فى وحدة الزمن ، والليومن هو وحدة قياس الفيض على احد المحورين [انظر شكل ١٠ ــ ٢] [ج] ، علما بأن وحدة الاضاءة هى لكس وهى تساوى ليومين للمتر المربع .

وتستخدم الخلايا الضوئية منذ بداية اكتشاف الالكترونيات على نطاق واسع فى أنظمة صناعية متعددة وقياسات [اجهزة قياس] . ومع ذلك فقد حل محل هذه الخلايا فى مجالات كثيرة نبائط اخرى ستوضح فيما يلى :

١٠ ــ ٣ خلايا التوصيل الضوئى

كما استعرض فى الجزء الاول من الكتاب ، عندما تمتص مادة شبه موصلة ذاتيا كمية من الطاقة ، فان ازواجا من الالكترونيات والفجوات تتولد داخلها بصفة تلقائية . فاذا زيدت كمية الطاقة الممتصة فان عدد ازواج الالكترونات والفجوات الحرة تزداد . ويكون التأثير النهائى على المادة هو





شكل ١٠ — ٤ (أ) تركيب خلية توصيل ضوئي (ب) رمز الخلية (جـ) منحنى الخواص النموذجي لخلية توصيل ضوئي

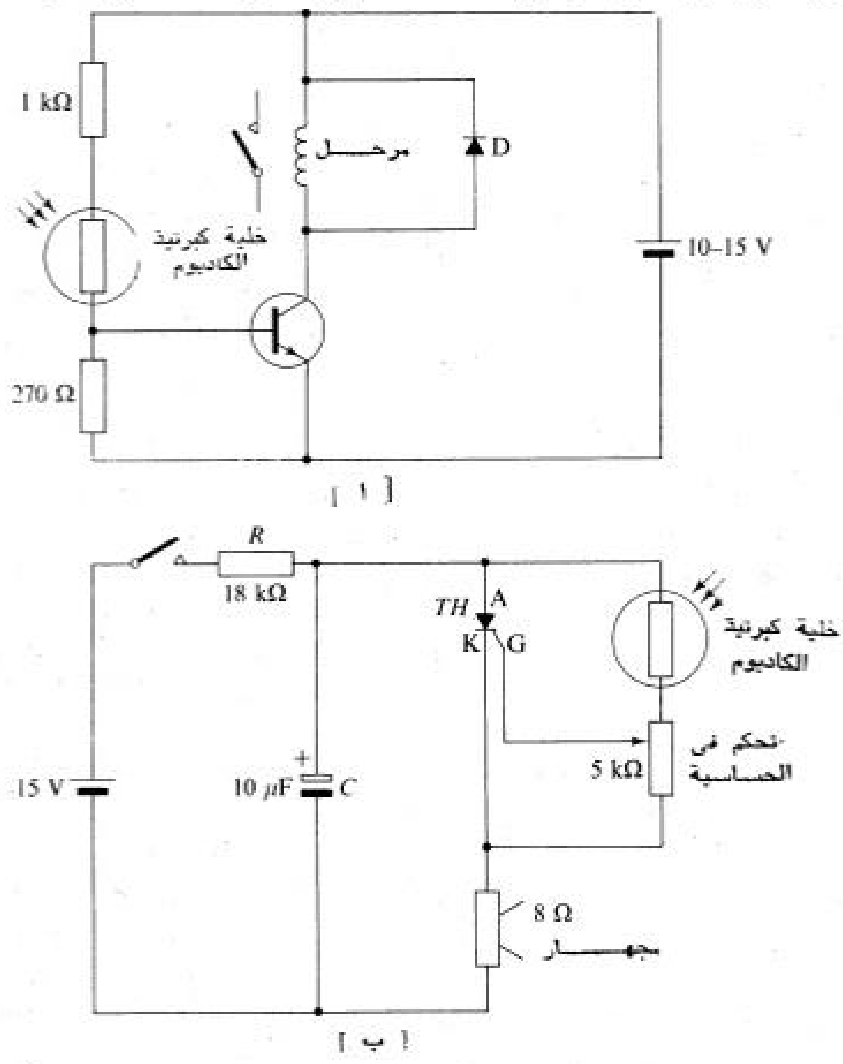
زيادة موصليتها او نقص في مقاومتها الكهربائية . ومصدر الطاقة في خلايا التوصيل الضوئي هو الضوء والاشعاعات القريبة من المرئية .

تستعمل المادة الشبه موصلة كبرتيد الكادميوم (CdS) على نطاق واسع في خلايا التوصيل الضوئي ولها استجابة طيفية توائم بالتقريب عين الانسان وتستخدم خلايا كبرتيد الكادميوم في التطبيقات التي تمكن الانسان من حساب مستويات الاضاءة وعلى سبيل المثال في دوائر التحكم الضوئية ودوائر كشف الدخان ... الخ . ولمواد شبه موصلة اخرى مثل كبريتيد الرصاص وانتمونيد الانديوم حساسية أكثر للاشعاعات المحتوية على نسبة عالية من الاشعة دون الحمراء .

ويوضح شكل ١٠ — ٤ (أ) تركيب شكل واحدة من خلايا كبرتيد الكادميوم ويقع قطر الخلية عادة في المدى من 1 cm الى 2.5 cm 0.4 in الى 1 in) والجزء الفعال من الخلية هو عبارة عن غشاء (فيلم) من مادة شبه موصلة موضوعة فوق قطبين يشبه كل منهما شكل المسرحة وجميعها بداخل غلاف شفاف . ويوضح الشكل ١٠ — ٤ (جـ) منحنى خواص هذه الخلية ، وتتغير مقاومة الخلية من قيمة تزيد عن 100 kΩ في الظلام الى حوالي 1 Ω عند الاضاءة الكاملة .

ويوضح شكل ١٠ — ٥ دائرتين يستخدم فيهما كبرتيدالكادميوم مثل ORP12 ففي الشكل ١٠ — ٥ (أ) ، تستخدم الخلية في دائرة انحياز مكبر الترحيل (الريلاي) وتكون مقاومة الخلية عالية عندما تكون غير مضاءة . في هذه الحالة ، تكون قيمة تيار القاعدة من الناحية الواقعية مساوية للصفر ويكون المرحل في حالة عدم تشغيل . وعند اضاءة الخلية تنخفض مقاومتها الى قيمة صغيرة وهذا يسمح لكل من تيار القاعدة والمجمع بالازدياد حتى يغذى المرحل بالطاقة وتغلق الدائرة عندما تتلامس اطرافه . ومهمة عمل الدايود D المتفرع توازيا مع ملف المرحل هو وقاية الترانزستور من زيادة عابرة للجهد عند انخفاض تيار الملف بطريقة مفاجئة نتيجة لانخفاض مفاجيء في مستوى الاضاءة .

وتستخدم اشارة الخطر ــ الضوئية المبينة فى شكل ١٠ ــ ٥ [ب] ، نبيطة لم نتعرض لها حتى الان . وهذه النبيطة هى الثايرستور والمبينة بالرمز TH فى الدائرة . وسنعطى هنا بيانا مختصرا عن عمل النبيطة . وسنتعرض لها بتفصيل أكثر فى الفصل الخامس عشر . الثايرستور هو نبيطة توصيل وفصل [مفتاح] شبه موصل تنخفض قيمة مقاومتها بين الانود والكاثود [موضحة بالرمز A و K فى الشكل] عند تسليط تيار على البوابة [كما هو موضح بالرمز G فى الشكل] . ويمكن لهذه النبيطة أن تفصل بمجرد انقاص تيار الانود الى قيمة منخفضة جدا [أقل من حوالى 1-2 mA] . ومهمة الثايرستور فى الدائرة المبينة بشكل ١٠ ــ ٥ [ب] ، هى تفريغ المكثفات بصفة دورية وتعمل الدائرة بالطريقة التالية . تكون مقاومة خلية كبرتيد الكادميوم عالية عند عدم اضاءتها ويكون الجهد المسلط على بوابة الثايرستور من الناحية الواقعية عديم القيمة . ونتيجة لذلك لا ينطلق الثايرستور الى التوصل فى حالة الظلام ويشحن المكثف الى القيمة النهائية



شكل ١٠ ــ ٥ تطبيقات خلايا التوصيل الضوئى [أ] دائرة مكبر لمرحل و [ب] جهاز انذار ضوئى .

لجهد المصدر . وعند سقوط الضوء على خلية كبرتيد الكادميوم ، تنخفض المقاومة وينساب التيـــار فى بوابة الثايرستور . عند حـــدوث ذلك يبدأ الثايرستور فى التوصيل ويسبب تفريغ المكثف بمعدل سريع خلال الجهاز مما يؤدي الى احداث طقطقة . وبمجرد ان ينتهى المكثف من التفريغ . تنقص قيمة التيار المــار فى الثايرستور الى مستوى أقل من القيمة القابضة عندما يتوقف عن التوصيل . بعد ذلك . يبدأ المكثف فى الشحن من جديد خلال المقاومة R . عندما يصل الجهد بين طرفى المكثف الى قيمة كبيرة بدرجة كافية . فان التيار المنساب خلال خلية كبرتيد الكادميوم الثايرستور للتوصل من جديد ويفرغ المكثف مرة اخرى . ويحدر طقطقة اخرى فى الجهاز وهكذا تصل الاضاءة الى مستوى معين يعطى الجهاز سلسلة من الطقطقات ومن الممكن ان يتغير معدل تكرار الطقطقة بتغير قيمة المقاومة R او المكثف C كما يمكن ضبط حساسية الدائرة للاضاءة بواسطة مقياس الجهد 5 kΩ . ويجب الاهتمام والتأكد من أن قيمة جهد المصدر لاتزيد عن معدل جهد المكثف.

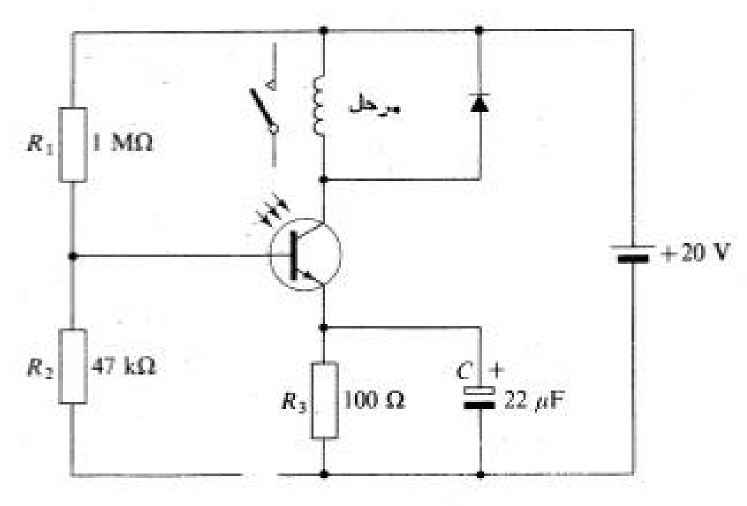
١٠ ــ ٤ وحـــدات الدايـــود الضـــوئية

الدايود الضوئى هو وصلة ثنائية م ـــ س داخل غلاف به فتحة او عدسة لكى تسمح بسقوط الضوء على الوصلة م ـــ س . ويتم تشغيل وحدات الدايود هذه تحت حالات الانحياز العكسى . بحيث يمر مجرد تيار صغير جدا خلال الدايود عندما ينخفض مستوى الاضاءة ـــ وعند زيادة شـــدة الاضاءة يزداد انسياب تيار التسرب للدايود . ويستخدم تيار التسرب هذا ليبين شدة الاضاءة الواقعة على الدايود .

ومن الجدير بالذكر . أن وحدات الدايود الضـــوئية حساســـة لكل من الاشعاعات المرئية والاشعاعات القريبة من دون الحمراء . وتستجيب هذه النبائط للضوء الذى يضمن أو تغير شدته عند ترددات عالية جدا .

١٠ ــ ٥ الترانزستور الضـــوئى

تعرض منطقة القاعدة للترانزستور الضوئى ثنائى القطب للاضـــاءة الساقطة فتحرر هذه الطاقة الضوئية حاملات الشحنة فى منطقة القاعدة ، فيزداد تيار القاعدة نتيجة لهذا التاثير . ويزداد تيار مجمـــع الترانزستور بازدياد شدة الاضاءة وتبلغ حساسية الترانزستور الضـــوئى المستخـــدم للاغراض العامة حوالى 500 mA لكل لومين . وبالاضافة الى ذلك ، يمكن استخدام التوصيل بمنطقة القاعدة لاغراض الانحياز كما هو موضح فى شكل ١٠ ــ ٦ .



شكل ١٠ ــ ٦ دائرة ترانزستور ضوئى للتحكم فى المرحل (الريلاى)

والدائرة الموضحة فى الشكل السابق هى من دوائر المرحلات المحرضة ضوئيا والتى تستخدم مفرقان . فى هذه الدائرة تستخدم المقاومات R_1 و R_2 و R_3 مع المكثف C لاغراض الانحياز والاستقرار الحرارى ، وسيوضح فى الفصل الحادى عشر لزوم استخدام هذه المكونات . وعندما ينخفض مستوى الاضاءة تصبح قيمة التيار خلال ملف المرحل صغير ويظل طرفا المرحل غير متلامسين . وعند ارتفـــــاع مستوى الاضـــاءة ، يزداد تيـــار الترانزستور الى قيمة تؤدى الى اغلاق المرحل . ومن الممكن استخدام ترانزستور BPX25 الذى يحتوى على عدسات مركبة داخل الغطاء المحيط لتركيز الضوء ويعتبر BPX29 ترانزستور مكافئا كبديل آخر به شباك واضح ويوصل الدايود على التوازى مع ملف المرحل لوقاية الترانزستور من الجهود العابرة عندما تتغير قيمة تيار المجمع بمعدل سريع لانخفاض مستوى الاضـــاءه فجأة .

وبتصنيع مادة عزل البوابة للترانزستور ذى التأثير المجالى (FET) بالبوابة المعزولة بحيث تكون شفافة للضوء ، فان الطاقة الضوئية تمر الى القاعدة السفلية وتؤدى الى تحديد حاملات الشحنة من القاعدة السفلية . وهذا يؤثر فى ازدياد موصلية قناة التوصيل التى بين المصدر والبالوعة مما يؤدى الى أن يصبح تيار المجمع مرتبطا بشدة الاضاءة .

١٠ ــ ٦ وحــدات الثايرستور الضــوئية

لعلك تذكر أن الثايرستور الذى سبق وتعرضنا له باختصار فى الجزء ١٠ ــ ٣ ما هو نبيطة الكترونية تستخــــدم للتوصيل الكهربائى عنـــد تسليط تيار دفعى الى قطب بوابتها . تنطلق وحدات الثايرستور الضوئية للتوصيل عند السماح للضوء الســاقط أن يقع على منطقة البــوابة لهذه النبطية .

١٠ ــ ٧ خلايا الجهــد الضــوئية أو الخليات الشمسية

عند تعرض دايود ضوئي معزول للضوء ، تظهر ق.د.ك بين طرفيه ، اى أن الدايود قد حول الطاقة الضوئية مباشرة الى طاقة كهربائية . وعند استخدام الدايود الضوئى على هذا المنوال فانها تعرف باسم خلية الجهد الضوئية او الخلية الشمسية . يمكن توليد جهود تصل الى 0.5 V لكل خلية بهذه الطريقة .

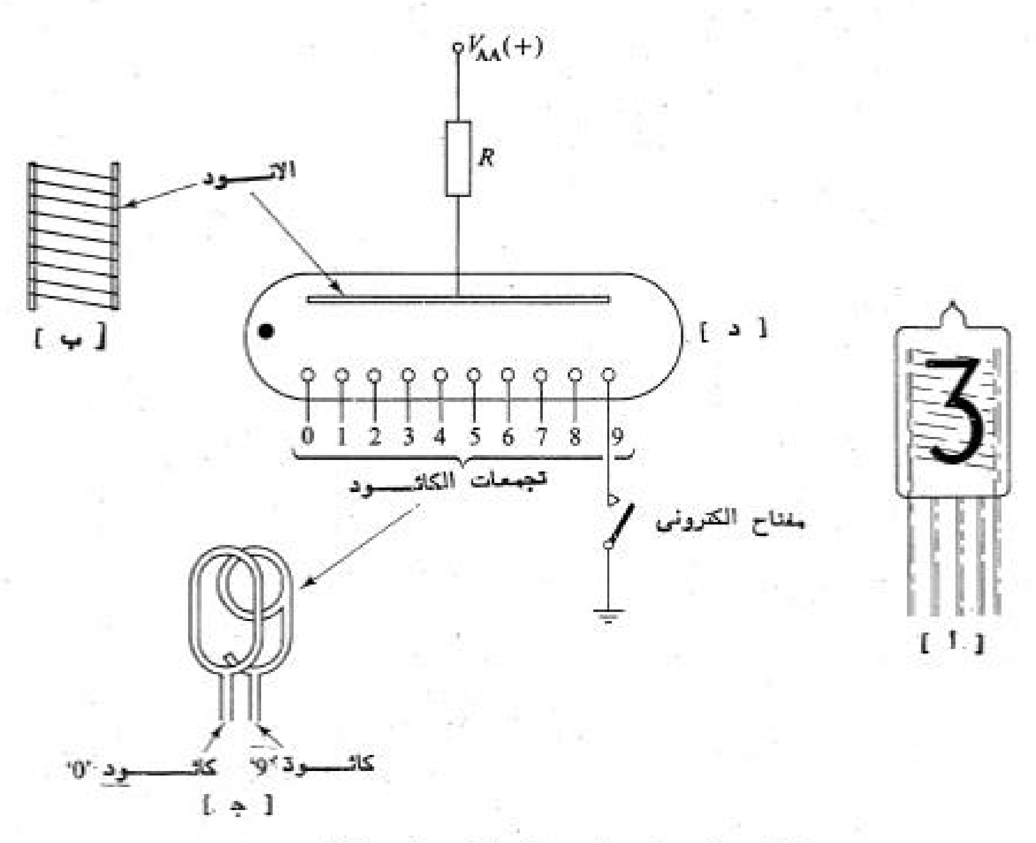
وتشمل تطبيقات خلايا الجهد الضوئية مقاييس مدة التعرض الفوتوغرافى للضوء والشريط المخرم وقارئات البطاقات وتطبيقات الفضاء .

١٠ ــ ٨ نبائط الانبعاث الالكترونى بتأثير الضوء

سبق أن ناقشنا فى الاجزاء السابقة نطاقا كبيرا من النبائط الحساسة للضوء ونوجه انتباه القارىء الان الى نبائط الانبعاث بتأثير الضوء التى تحول الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية . اذ يمتد مجال هذه النبائط ابتداء من الفتيلة ونيون العرض ووحدات دايود القذف الضوئى . وسوف نتعرض ايضا لوصف مبينات السائل البللورى بالرغم من عدم كونها وسائل عرض بتأثير انبعاث الضــوء .

١٠ ــ ٩ أدوات عــرض الكاثــود البــارد (الغــازية)

يعتبر صمام الكاثود البارد الغازى واحدا من الانواع الشائعة من صمامات المبين الرقمى ويوضح شكل ١٠ ــ ٧ [أ] نوعا من التركيبات المتبعة . اذ يضم الصمام انودا على شكل الشبكة السلكية من النوع المبين فى شكل ١٠ ــ ٧ [ب] والذى يوصل الى جهد الموجب للمصدر V_{AA} عن طريق المقاومة R [انظر شكل ١٠ ــ ٧ [د]] . ويكاد انــود الشبكة السلكية أن يكون مرئيافى أحوال التشغيل العادية . وتصطف تجمعات الكاثــود على شاكلة الارقام 0,1,2...,7,8,9 كل على حده وراء بعضها البعض كما هو موضح بالرسم [جـ] . ويتم تثبيت الانود وتجمعات الكاثود داخل غلاف زجاجى ممتلىء بالغاز ، مع وضع نقطة عند نهاية الطرف الايسر لرمز دائرة [الرسم د] للاشارة الى حقيقة امتلاء الصمام بالغــاز ، ويستعمل غاز النيون حتى يعطى اللون الاحمر ــ القرنفلى المميز للكاثود المضــاء . هذا ويضاء كاثود واحد فقط لكل مرة بتوصيله بخط جهــد الصفر عن طريق مفتاح الكترونى متصل كما فى شكل ١٠ ــ ٧ [د] بالقطب رقم 9 .



شكل ١٠ ــ ٧ صمام عرض رقمى مملوء بالغاز

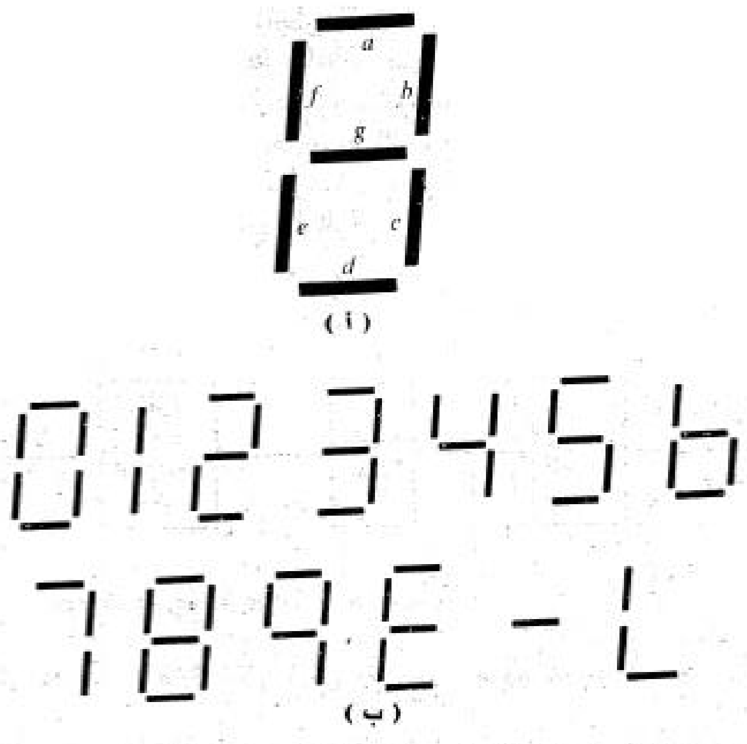
وعندما يضاء واحد من تجمعات الكاثود ، ينخفض فرق الجهد بين طرفى الصمام الى قيمة من الجهد تعرف باسم جهد المداومة للصمام وهو يبلغ عـــادة 150V علما بأن قيمة الجهد V_{AA} تقع فى المدى ما بين 180V او 300V اما القيم المعتادة للمقاومة R بالنســبة للقيم المختلفة للجهد V_{AA} فهى 16 kΩ مع 180V و 33 kΩ مع 250V و 47 kΩ مع 300V

وعيوب مثل هـــذا النوع من وسائل العرض ، بالمقارنة مع بعض الانواع الاخرى ، هى :

[أ] صفر زاوية المشاهدة
[ب] الحاجة الى قيمة عالية لجهد الانـــود
[جـ] تتراقص الارقام أماما وخلفا عنـــد تغير الارقام السريع اثناء تتابع عملية العد .

١٠ ــ ١٠ فتـــائل عـــرض الارقـــام

ان اكثر انـــواع فتائل العرض شيوعا والتى تستعمل مـــع المعـــدات والحاسبات الالكترونية هى وسائل عرض الشرائح السبع والتى تتضمن سبع فتائل منفصلة من a الى g كما فى شكل ١٠ ــ ٨ [أ] . وتكتب هذه الفتائل على لوحة متماسكة داخل غلاف زجاجى .



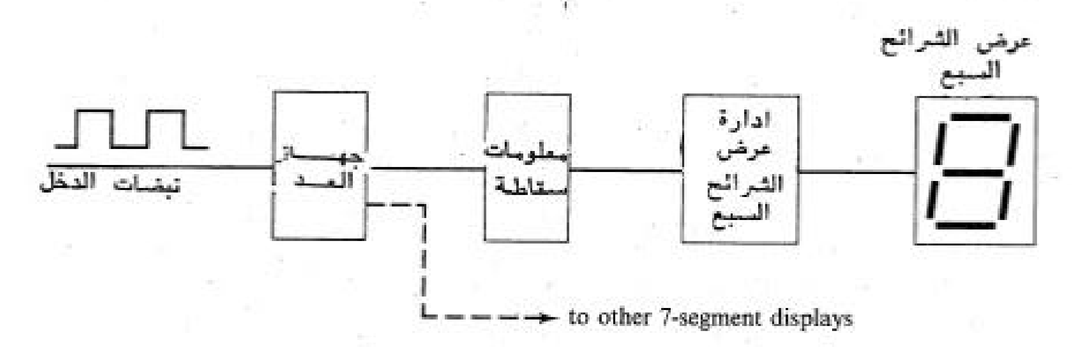
شكل ١٠ — ٨ أساسي للعرض الرقمي بسبع شرائح .

يمكن الحصول على عروض مختلفة باضاءة مجموعة من هذه الفتائل [انظر شكل ١٠ — ٨ [ب] . فالعشرة أشكال الاولى خاصة بالارقام العشرية من O الى g . ويستخدم رمز الحرف E احيانا كرمز تحذير فى الحسابات الالكترونية ليوضح ان العمليات المجراة خارجة عن نطاق هذا المقياس . ومن الممكن ايضا تكوين حروف أبجدية اخرى مثل حرف L اذا اضيئت القطع f و e و d . ويمكن استخدام حالة العرض الاخيرة L لتبيان ان جهد المنبع منخفض بالنسبة للمعدات . تعطى اضاءة القطعة g بمفردها اشارة سـالبة .

والابعاد القياسية لفتائل العرض تتمثل فى ارتفـاع من 20 mm — 6 (0.4 — 0.6 in) ويمكن ان يتم تشغيلها على جهود فى المدى ما بين 4 v الى 6 v كما ان تيار السحب تقل قيمته عن حوالى 10 mA ويمكن تشغيل هذا هذا النوع من وسائل العرض مباشرة بنظم منطقية رخيصة التكاليف وتصنع وسائل العروض الكبيرة بارتفاع يبدأ من حـوالى 100 الى 200 mm 2.5 الى 5 in ، وتعمل على جهد تبلغ قيمته حوالى 15 v .

ويوضح شكل ١٠ — ٩ الدائرة الاساسية اللازمة لعرض رقم بمفرده باستخدام نبيطة الشرائح السبع القارئة . وتستخدم الدائرة لعـد توليـد النبضات من مصدر اشارات من الممكن ان يوضع ، مثلا ، على خط انتاج . ويعرض رقم النبضات الناتج على صمام الشرائح السبع . وتعتبر الدائرة المبينة أساسا لاشكال متعددة من عروض الشرائح السبع مثل وسائل عرض

وحدات دايود القذف الضوئى [أنظر الجزء ١٠ — ١١] أما النبيطة المكتوب عليها معلومات سقاطه (data latch) فهى نبيطة اختيارية زائدة وليست ضروريةلعملالنظام. انها نبيطة تختزنمعلومات الحالةالسابقة للعداد خلال الزمن الذى تعد فيه الدائرة مجموعة الانتاج التالية . لذلك فانها تسمح للقيم السابقة ان تحسب لتعطى عرضا مستقرا أو عرضا بضـــوء غير وامض لحين أن تكتمل مجموعة الانتاج التالية .



شكل ١٠ — ٩ فكرة نظام عرض رقم مفرد بسبع شرائح .

وبعد اتمام مجموعة الانتاج ، يولد العداد نبضة لتسمح لقيم جـــديدة أن تحول الى معلومات سقاطة يمكن أن تعرض حينئذ على الصمام ويمكن للعداد حينئذ أن يبدأ مباشرة اعادة عملية العد لمجموعة الانتاج التالية . ولكى يمر تيار مناسب لتشغيل الفتائل تلحق دائرة تعرف بمشغل الشرائح السبع بين الدائرة المنطقية ونبيطة العرض .

ومن سمات هذا النوع من نبائط العرض انه بالنظر الى انبساط السطح المركب فان زاوية المشاهدة عريضة وفى حدود °150 .

١٠ — ١١ دايـــود الانبعاث الضوئى (LED)

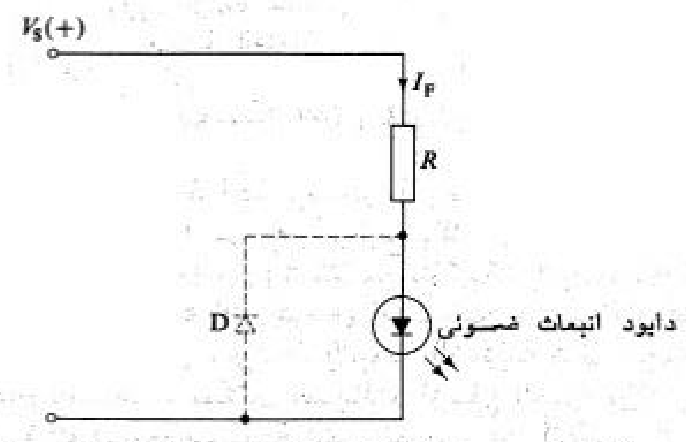
دايود الانبعاثالضوئى هو وصلة ثنائية من مادة شبه موصلة تبعثضوءا مرئيا ، عندما تكون أمامية الانحياز . ويعتمد اللون المشع على نوع المـــادة المستخدمة فى تصنيع النبيطة ، واللون المألوف هو الاحمر ، والبرتقـــالى والاصفر والاخضر ، وتشمل المواد التى تصنع منها دايود الانبعاث الضوئى فوسفيد الجاليوم وارزينيد فوسنيد الجاليوم . وتستخدم عروض دايـــود الانبعاث الضوئى فى الحاسبات اليدوية والمعدات المتنقلة المشابهة .

ويوضح شكل ١٠ — ١٠ الدائرة الاســاسية لدايود انبعاث ضوئى. تحسب قيمة مقاومة الحد من التيار R من المعادلة

$$R = \frac{V_S - V_F}{I_F}$$

حيث V_S هى قيمة جهد المصدر و V_F هى فرق الجهد الامامى عبر دايود الانبعاث الضوئى و I_F هو التيار الامامى للدايود . وتعتمد قيمة V_F و I_F على نوع الدايود وتقع هذه فى الحـــدود 2-2.5 V و 25 mA — 5 على الترتيب بالنسبة للون الاحمر اما بالنسبة لوحدتى دايود الانبعاث الضوئى الاخضر والاصفر فانها تقع فى الحـــدود 2.5-3.5V و 10-40 mA وبالنسبة الى دايود يعمل على مصدر بجهد 5 V مع تيار امامى قدره 10 mA وفرق جهد امامى قدره 2.5V فان قيمة R هى

$$R = \frac{5 - 2{\cdot}5}{10 \times 10^{-3}} = 0{\cdot}25 \times 10^3 = 250\,\Omega$$



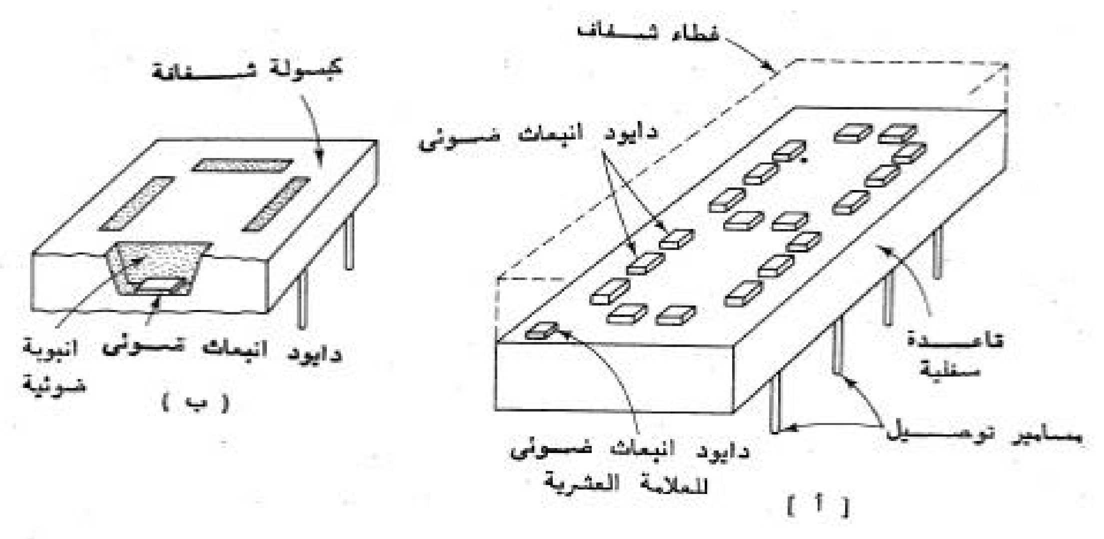
شكل ١٠ — ١٠ دائرة اساسية لدايود الانبعاث الضــوئى

اذا اختيرت المقاومة من مجموعة مقاومات تفاوتها المسموح به مقداره 10% ، فانه يمكن اختيار مقاومة قيمتها اما 220 Ω او 270 Ω .

وجهد الانهيار العكسى لدايود الانبعاث الضوئى صغير تماما فى المدى من 3V الى 10 V. فلذلك يكون من الضرورى عند استخدام دايود الانبعاث الضوئى مع مصدر جهد متردد توصيل دايود على التوازى معه [دايود D فى شكل ١٠ — ١٠] وعلى اسلوب التوازى العكسى .

وتحتوى النبائط المسماة دايود الانبعاث الضوئى ذو المقاومة على مقاومة متكاملة للحد من التيار ومحتواه داخل الكبسولة . ولا تدعو الحـــاجة فى هذه الحالة الى مقاومة خارجية للحد من التيار عند التشغيل على الجهـــد المقنن .

ويوضح شكل ١٠ — ١١ طريقتين شائعتين لاستخدام عوارض الشرائح السبع لدايود الانبعاث الضوئى فى المعدات المتنقلة . ويبين شكل ١٠ — ١١ [أ] الجيل الاول لهذا النوع من وسائل العرض حيث تركب مجموعات من دايود الانبعاث الضوئى على سفلية فى نموذج من سبع شرائح ، ويغلف الجميع بطبقة شفافة . ويوضح الشكل ايضا كيفية تثبيت وضـــع دايود الانبعاث الضوئى ليتسنى عرض العلامة العشرية .



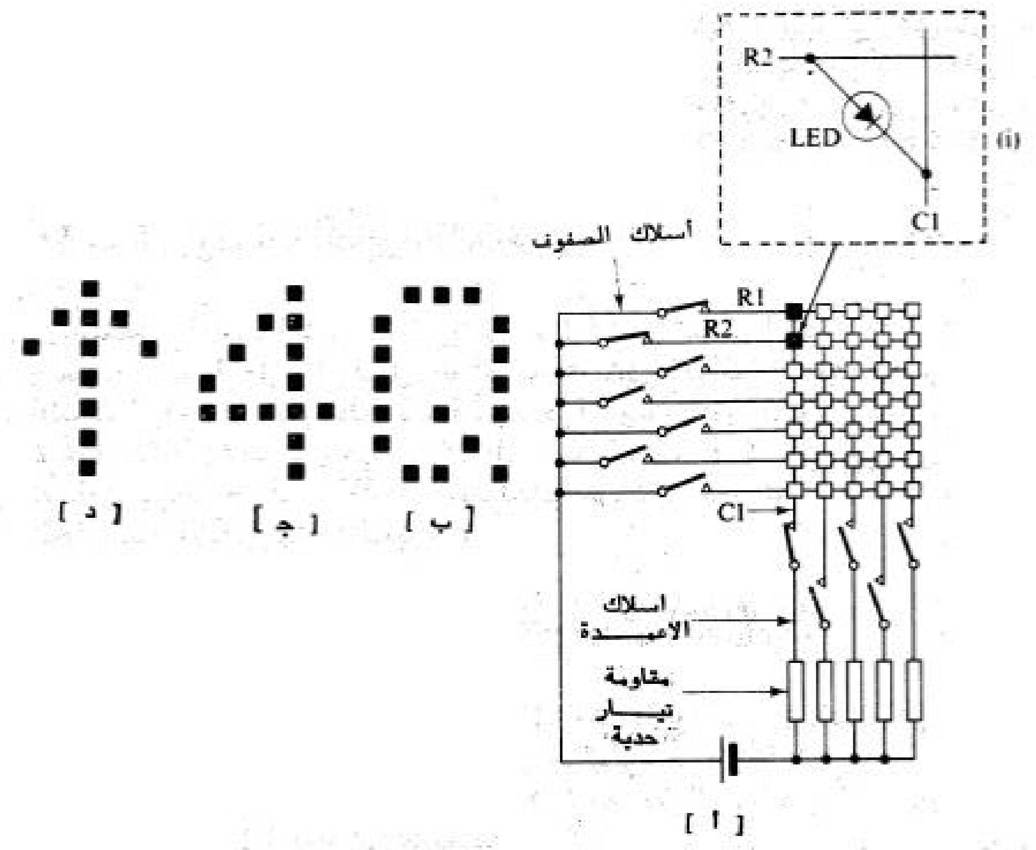
شكل ١٠ — ١١ طريقتين لتركيب وسائل العرض بالشرائح السبع لدايود القذف الضوئى

فى التطبيق العملى يتخذ احد وضعين لعرض العلامة العشرية هما اما الى ادنى يسار العارض [كما هو موضح بالشكل] . او ادنى اليمين . ويوضح شكل ١٠ — ١١ [ب] شكلا من التركيبات المستخدمة لما يعرف باسم « الانابيب الضوئية » التى توصل الضوء من دايود الانبعاث الضوئى الى سطح وسيلة العرض . وتتخذ الانبوبة الضوئية شكل فجوة مخروطية مملوءة بالزجاج الشفاف . فتنتشر جسيمات الزجاج الضوء من دايود الانبعاث الضوئى وبذلك تسمح بمساحة اكبر للعرض عن العرض العادى الذى نحصل عليه من الشكل المبين فى ١٠ — ١١ [أ] .

وللنبائط الموضحة سابقا قدرة على تكوين اما ارقام عشرية او مدى محدود من الحروف الابجدية . وباستخدام مصفوفة من وحدات الانبعاث الضوئى بها خمسة اعمدة وسبعة صفوف [تعرف بمصفوفة النقطة 7 × 5] يمكن عرض المدى العشرى والحروف الابجدية كلها بالاضافة الى بعض الرموز

ويوضح شكل ١٠ — ١٢ [أ] فكرة عمل وسيلة عرض مصفوفة النقطة 7 × 5 اذ يوصل دايود انبعاث ضوئى عند سجل نقطة تقاطع سلكى كل صف مع كل عمود بالطريقة الموضحة فى الجزء (i) من الرسم [أ] لهذا الشكل . ويتم توصيل الدايود فى هذا الشكل بحيث يتصل الانود بسلك الصف R2 ويتصل الكاثود بسلك العمود C1 . فعند اغلاق المفاتيح R1 و R2 و C1 تضاء مجموعة وحدات الدايود عند تقاطع هذه الخطوط وتبين اشكال [ب] و [جـ] و [د] بعض العروض النموذجية التى يمكن الحصول عليها من عرض مصفوفة النقطة 7 × 5 . وبالنسبة للزمن المبينة فان مواصفاتها تطابق شفرة ASCII وتعنى الشفرة الامريكية القياسية للمعلومات البينية.

وتستخدم فى بعض الاحيان مصفوفة نقطة بديلة عبارة عن 4×7 [اربعة اعمدة وسبعة صفوف] وتحتاج الى عدد اقل من مصادر الاضاءة الا أن هذا يكون على حساب الحد من استعمالاتها .

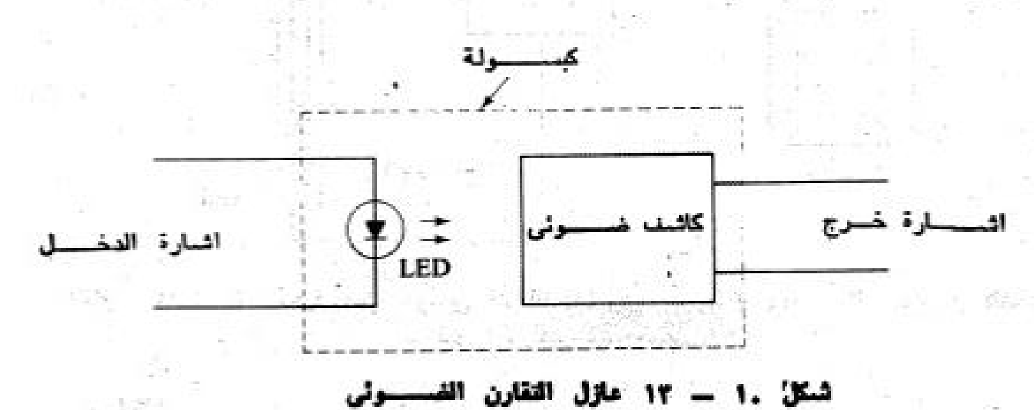


شكل ١٠ ــ ١٢ عرض مصفوفة النقطة A 5×7

١٠ ــ ١٢ وحدات عزل التقارن الضوئى

غالبا ما يواجه مصممى الدوائر الالكترونية مشكلة تهيئة وسيلة لعزلها عن بعضها البعض ، مع استمرار المحافظة على نقل الاشارة ذات الترددات العالية . وقد تم التوصل الى حل كثير من هذه المشاكل بواسطة دوائر العزل التى تستخدم الالكترونيات الضوئية .

ويوضح شكل ١٠ ــ ١٣ فكرة عمل عازل التقارن الضوئى . اذ تسلط الاشارة على الدايود ذى الموصلية الضوئية ويرسل خرج الضوء الى كاشف ضوئى ، حيث يكون كلاهما متماسكا بالاخر ضوئيا داخل الكبسولة .



شكل ١٠ ــ ١٣ عازل التقارن الضوئى

والكاشف الضوئى عبارة عن دايود آخر ذو موصلية ضوئية اوترانزستور ضوئى . وفى بعض الحالات يحتوى العازل الضوئى ايضا على مكبر كامل لتهيئة بعض قدرة الخرج . وتتخذ المقاسات الطبيعية لشكل شائع من وحدات العزل الضوئى المقاسات هى (7.5 × 6.5 × 5 mm (0.3 ×0.25 × 0.2 in

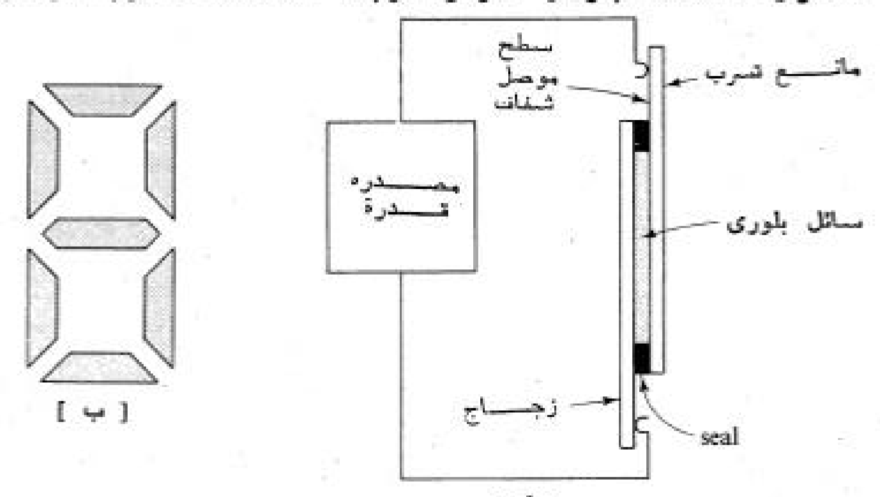
١٠ ــ ١٣ وحدات الدايود الفسفورى

يستخدم الدايود المتفسر [فلوريسى] بكثرة فى المعدات الالكترونية اليابانية وتعتمد أساسا على « العين السحرية » دليل الموالفة . وتستخدم هذه النبائط الواح انــود مغطاة بمادة متفسفرة تتوهج بلون أخضر متميز عنــد تذفها بالالكترونات . وهي تحتاج الى جهد أنــود حوالى 20V ومصدر تسخين بجهد حوالى 1.5V وتستخدم عروض الشرائح الســبع فى الحاسبات الالكترونية الصغيرة .

١٠ ـ ١٤ مبــين الســـائل البــلورى (LCD)

السائل البلورى هو عبارة عن سوائل عضوية والنوع المستخدم فى مبين السائل البلورى يعرف بالسائل البلورى الخيطى (nematic) [من الكلمة اليونانية nematos التى تعنى « تشبه الخيط » بمعنى ان الجزئيات تتخذ شكلا مماثلا للخيط فى طبيعتها] .

يوضح شكل ١٠ ــ ١٤ [أ] فكرة عمل مبين السائل البلورى ، حيث يحكم السائل بين سطحين زجاجين مانعين للتسرب حيث يغطى السطح الداخلى لكل منهما بمادة موصلة شفافة يؤدى تسليط فرق جهد فى المدى ما بين 1.5 V الى 30 V [معتمدا على اسلوب التشغيل] ، التى تغير الخــواص الضوئية للسائل البلورى . ومن الوجهة الاساسية ، يوجد نوعان متاحان



شكل ١٠ ــ ١٤ فكرة عمل عروض السائل البلورى [ب] مبين سائل بللورى تقليدى ــ ذى الشرائح الســبع .

هما عوارض الاستطاره الديناميكية والتى تعطى دائما عروضا بيضـــــاء وعروض التأثير المجالى والتى تعطى عادة عروضا سوداء] . ولا يعطى السائل البلورى بنفسه اى اضاءة ويعتمد كلية او تماما على الاضاءة المحيطة

وعند تنشيط احد انواع الاستطاره ديناميكيا ، تصبح الجزيئيات مضطربة [داومية] وينتشر الضوء بكفاءة مرتفعة جدا . ويؤدى هذا الى ظهور العرض الابيض حيث تعتمد شدة الاضاءة على الاحوال المحيطة . اما بالنسبةلعروض التأثير – المجالى فان المساحات المنشطة [الممتدة بالطاقة] تمتص الضـــوء الساقط فتعطى عرضا اسود .

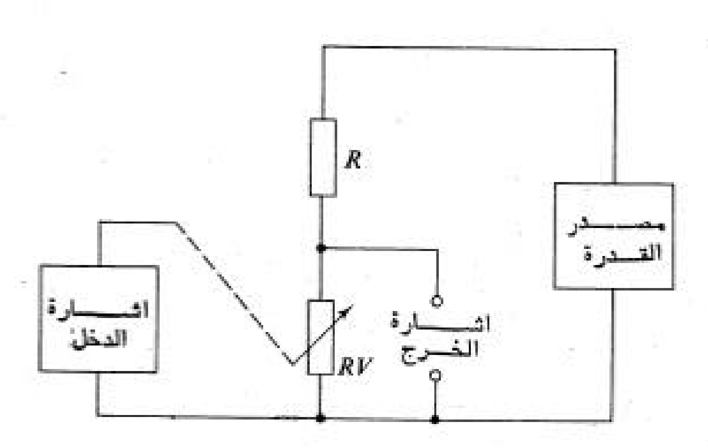
ويعانى كلا النوعين البلوريين من التحلل الكهربائى عند تغذيتها بمصـــدر تيار مسخر ويـــؤدى الى قصر عمر العارض . وللتغلب على هذا ، تنشط البلورات بواسطة منبع تيار متردد . وحيث أن مبين السائل البلورى لايعطى خرجا ضوئيا بصفة تلقائية ، لذا فان قيمة [illegible]
فى حدود الميكروامبير ، مما يجعله مثاليا .
مثل ساعات المعصم .

الفصــــل الحـــادى عشر

المكـبرات والدوائر المنطقيـة الاساسـية

١١ ـ ١ أســـاس عمـــل المكــبرات

يوضح شكل ١١ ـ ١ فكرة عمل كثير من أنواع المكبرات الالكترونية . ويتكون المكبر من مقاومة ثابتة متصلة على التوالى مع مقاومة متغيرة RV حيث يتحكم جهد الدخل او اشارة الدخل فى هذه المقاومة . هذا وتستخـدم كلمة « اشــارة » فى الالكترونيات لتعطى معنى كمية كهربائية تحتوى على المعلومات او البيانات المراد نقلها كما تستخدم كلمات تكبير او كسب فى هذا الباب لتعنى زيادة فى قيمة الاشارة .



شكل ١١ ـ ١ فكرة عمل المكبرات الالكترونية

يعبر عن الكفاءة الكهربائية لكثير من المكبرات كنسبة بين القدرة الممتصة فى الحمل الى القدرة المغذاة من المصدر ، ويمكن ان تنخفض هذه النسبة الى 10% ولكن طالما تقوم الدائرة بتكبير الاشارة بطريقة مرضية فلن تعنى قيمة الكفاءة ايا من المصمم او المستهلك . وتبلغ القدرة المتضمنة دائما مجرد جزء من الوات فى المكبر من النوع الموضح عاليه . ومع كل ، فان الكفاءة المرتفعة تعتبر أمرا حيويا بالنسبة لمعدات التردد السمعى ، حيث تعادل قدرة الخرج حوالى 30 وات او اكثر .

وتتماثل اشارة الخرج من المكبر عادة [ليس بالضرورة] مع اشارة الدخل الا انها مكبرة او مضخمة وتظهر بين طرفى المقاومة المتغيرة RV المبينة فى شكل ١١ — ١ . ويحل الترانزستور او الصمام فى المعدات القديمة ، فى التطبيق العملى ، محل هذه المقاومة المتغيرة . حيث تتحكم قيمة اشارة الدخل فى تحديد قيمة المقاومة الفعالة .

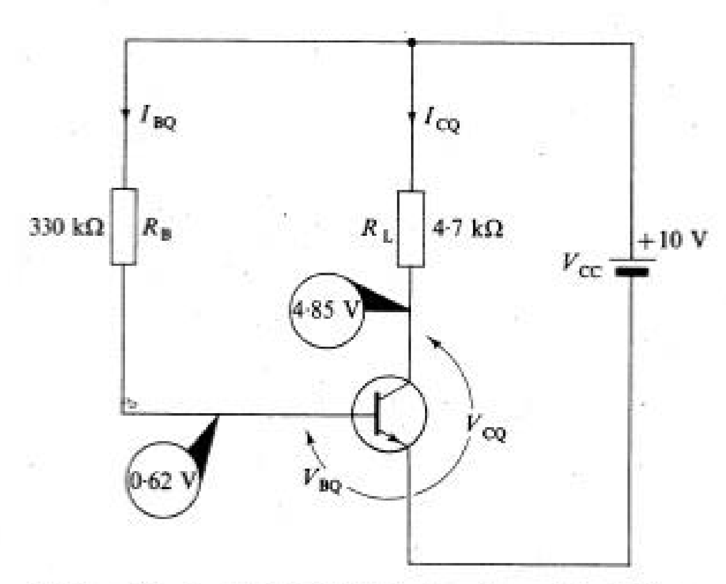
هذا وتوجد عدة طرق لتقسيم المكبرات ، وفى احدى هذه الطرق تقسم الى مكبرات خطية ومكبرات مفتاحية . فالمكبر الخطى يقوم بتكبير الشكل الموجى لاشارة الدخل بأمانة وبدون أى تشويه . وتوصف المكبرات الخطية التى تتعامل مع اشارات دخل ذات قيم صغيرة [اى أن قيمة ج.و.ر. الجهد تعادل بضعة من وحدات الملى فولت] احيانا بمكبرات الجهد ، حيث تكبر القيم الصغيرة لجهود الدخل بطريقة خطية . ولقد تم تصميم مكبرات قدرة تستطيع ان تتعامل مع مستوى كاف من القدرة مثل خرج نبائط الجهار أو دائرة المجال للمحرك الكهربائى وبمستويات قدرة تبدأ من بضع وحدات من الوات الى عدة كيلو وات وتتغير قيمة المقاومة المتغيرة المبينة فى شكل ١١ — ٢ بالنسبة للمكبر المفتاحى فجأة من قيمة صغيرة الى مالا نهاية ، هذا وتضم هذه الطائفة الدوائر المنطقية .

هذا وسوف تعرض المكبرات الخطية فى الفصول من ١١ — ٢ الى ١١ — ٨ على ان تقدم الدوائر المفتاحية فى بقية فصول الباب .

١١ — ٢ مكبر اساسى من نوع الباعث المشترك

سبق أن قدمنا فى الباب التاسع ، اشكالا مختلفة لترانزستور الباعث المشترك مع تقديم خواصها . وفى هذا الجزء من الكتاب سنعالج كيفية استخدام الترانزستور على منوال الباعث المشترك لتكبير الاشارات .

يوضح شكل ١١ — ٢ شكلا هيكليا للمكبر المستخدم مع ترانزستور من السليكون سى — م سى . وسنأخذ فى الاعتبار اولا حالات التشغيل لهذه الدائرة بالنسبة للتيار المستمر . اذ تسمح القيم المحددة فى هذا التشغيل للترانزستور ان يعمل كمكبر . وللحصول على حالات التشغيل الصحيحة يتحتم أن ينحاز الترانزستور [الذى يحل محل المقاومة المتغيرة فى شكل ١١ — ١] بحيث تعادل القيمة الساكنة لجهد المجمع حوالى نصف جهد المصدر، اى يجب أن يساوى حوالى $V_{CC}/2$. وتبلغ قيمة جهد المصدر 10 V فى الحالة الموضحة بالشكل ، مع مقاومة انحياز R_B فى دائرة القاعدة مقدارها 330 kΩ. كما وجد ان قيمة جهد المجمع تعادل 4.85V [لاحظ ان هذه القيمة لجهد المجمع هى نتيجة لاختيار الترانزستور بطريقة عشوائية ، فاذا



شكل ١١ — ٢ مستويات الجهد المستمر فى المكبر الاساسى

استخدم ترانزستور آخر من نفس النوع ، تكون قيمة جهد المجمع فى جميع الاحتمالات مختلفة عن هذه القيمة المعطاة] . هذا وقد أعطيت قيم الجهود فى شكل ١١ — ٢ فى حالة سكون الدائرة ، اى فى حالة عدم دفع اشارة فى منطقة قاعدة الترانزستور وبالتالى يسمى جهد المجمع المبين بجهد السكون للمجمع V_{CQ} كما يسمى جهد القاعدة الموضح بجهد سكون القاعدة. ومن القيم المبينة ، فان قيمة تيار السكون بالقاعدة هى :

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BQ}}{R_B} = \frac{10 - 0{\cdot}62}{330 \times 10^3} = 28{\cdot}5 \times 10^{-6}\ \text{A or } 28{\cdot}5\ \mu\text{A}$$

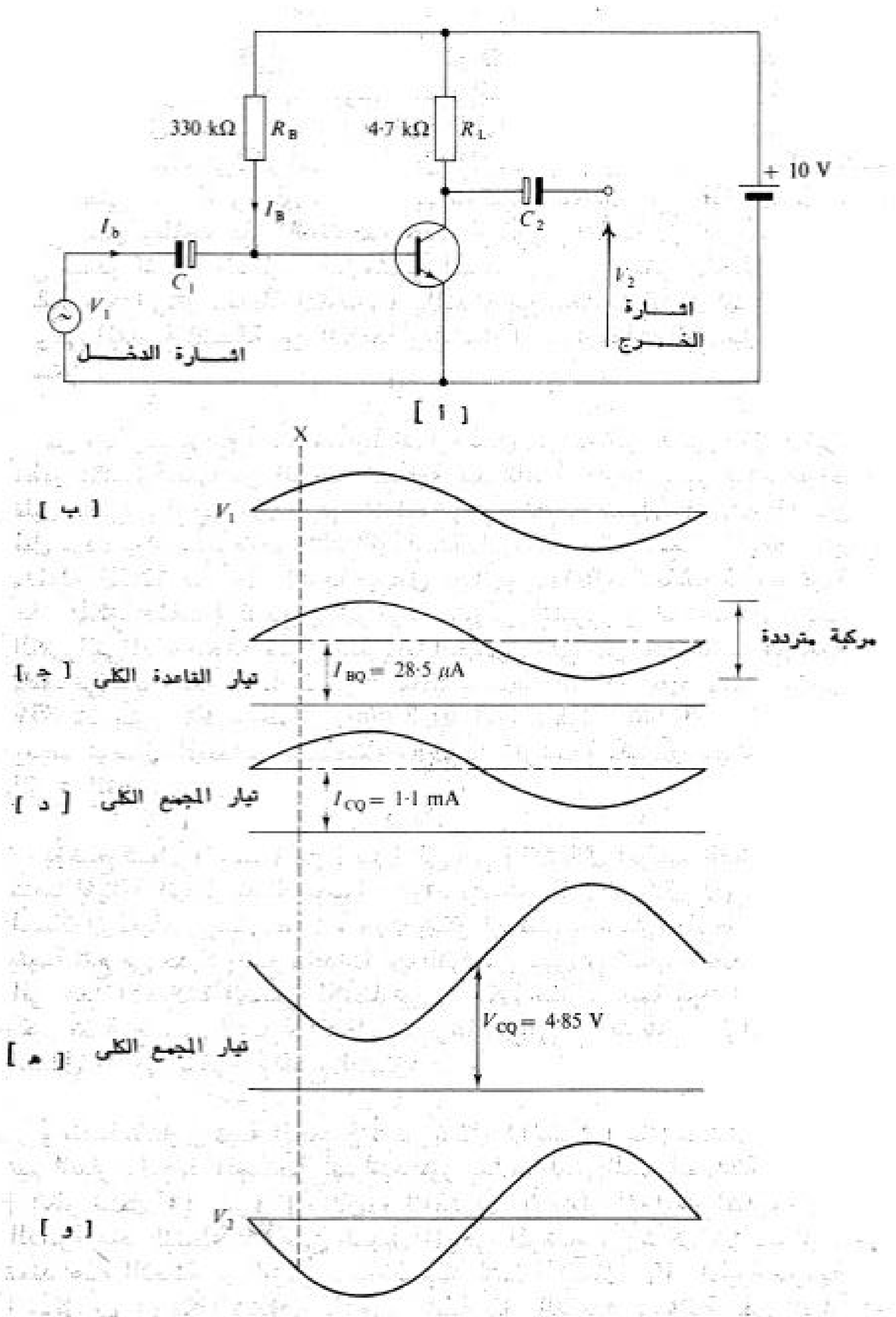
وقيمة تيار السكون للمجمع هى

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CQ}}{R_L} = \frac{10 - 4{\cdot}85}{4{\cdot}7 \times 10^3} = 1{\cdot}1 \times 10^{-3}\ \text{A}$$

ويكون التيار الكلى المسحوب من مصدر $1{\cdot}1 + 0{\cdot}028)\ \text{mA} = 1{\cdot}128\ \text{mA}$
والتى تجعل القدرة المطلوبة من المصدر وحدة اكبر قليلا من **11 mW** .

وتعطى النسبة بين قيمتى تيار السكون [اى أن نسبة I_{CQ}/I_{BQ}] معاملا اوبارماميتر للترانزستور المعروف بالكسب فى حالة التيار المستمر او كسب التيار للاشارة المكبرة ، ويعرف بالرمز h_{FE} . هذا وقد سبق لنا فى الفصل التاسع توضيح البارآميتر h_{fe} وهو كسب التيار فى حالة الاشارة الصغيرة ولاغراض عملية كثيرة ، ويكون من الصواب افتراض أن قيمة h_{FE} تساوى بالتقريب h_{fe} وتحدد قيمة كسب التيار من الارقام السابقة كما يلى :

$$\text{كسب التيار} = \frac{\text{تيار المجمع}}{\text{تيار القاعدة}} = \frac{1{\cdot}1\ \text{mA}}{0{\cdot}0285\ \text{mA}} = 38{\cdot}6$$



شكل ١١ – ٣ [أ] دائرة مكبر كاملة ، من [ب] الى [و] بيين الاشكال الموجية فى الدائرة [الاشكال الموجية مرسومة بدون استخدام مقياس رسم] .

ولا تعتبر هذه القيمة لكسب التيار مرتفعة على وجه الخصوص ، ولكنها تقع ضمن المدى الواسع لمجموعات الترانزستور التى تبلغ القيمة المتوسطة

لكسب التيار بها حوالى 60 . وبعد أن تكون الحالات المناسبة للتشغيل بالتيار المستمر قد تحددت ، بوجه انتباه القارىء الى كبير الاشارة المترددة ويوضح شكل ١١ — ٣ [أ] الدائرة الكاملة التى تتعامل مع الاشارات المتغيرة ، حيث توصل اشارة الدخل المترددة V_1 الى المكبر من خلال مكثف الكتروليتى C_1 ، والذى سنقدم السبب فى استخدامه فى هذا الفصل . فمن ضمن وظائف هذا المكثف منع جهد السكون بالقاعدة من أن يمرر تيارا فى مصدر اشارة الدخل . لذا يسمى المكثف C_1 فى بعض الاحيان **بالمكثف المانع** . هذا وتقل مفاعلة المكثف C_1 بالمقارنة مع بمعاوقة الدخل للترانزستور [وهى المقاومة الفعالة بين القاعدة والباعث] عند ترددات التشغيل العادية للمكبر .

من هذا يتضح أنه ، عند تسليط اشارة دخل مترددة بين طرفى دخل المكبر، تظهر الاشارة كلها من الناحية الفعلية عند قاعدة الترانزستور ويقع هبوط قليل جدا فى الجهد بين طرفى المكثف C_1 . وعلى سبيل المثال ، اذا كان اقل تردد يراد تكبيره هو 32 Hz واستخدام مكثف مانع سعة 50 µF فان مفاعلة المكثف عند هذا التردد تعادل حوالى 100 Ω . وبذلك تصبح قيمة هذا المكثف مناسبة للتطبيق المرغوب . ومن الضرورى استخدام مكثف الكتروليتى لهذه الحالة حتى يتسنى لنا الحصول على مثل هذه القيمة المرتفعة لكثف فى حجم علبة عادية صغيرة ، فالمكثف سعة 50 µF بجهد مقنن يساوى 25V قد يكون قطره حوالى 8 mm (0.3 in) وطوله 20 mm (0.8 in) ويجب توصيل المكثفات المستخدمة بالطريقة الموضحة بالشكل حيث انها من النوع القطبى .

يوضح شكل ١١ — ٣ من [ب] الى [و] الاشكال الموجية للدائرة عندما تتخذ اشارة الدخل شكلا جيبيا . وقد وقعت هذه الاشكال الموجية بدون استخدام مقياس رسم معين ، حيث يمكن ان تسبب اشارة الدخل (V_1) ، بقيمة تقع فى حدود بضع وحدات من الفولت . ويؤدى كسب الجهد للمكبر الى هذا الاختلاف النسبى للاشارتين . وكما سنرى فيما بعد ، يسمح بأكبر قيمة ج.م.م لاشارة الدخل مقدارها حوالى 15 mV والا اصبح الشكل الموجى للخرج واضح التشوه .

وعندما تساوى قيمة الجهد V_1 فى شكل ١١ — ٣ [ب] صفرا ، تتخذ قيم التيار والجهد المصاحبة للترانزستور بما يساوى القيم الساكنة للدائرة [أنظر شكل ١١ — ٢] والان ، لنأخذ فى الاعتبار الحالات الناجمة فى الدائرة عند اللحظة X على الشكل الموجى الموضح فى شكل ١١ — ٣ . فعند هذه اللحظة من الزمن . يتخذ جهد اشارة الدخل V_1 قطبية موجبة [شكل ب] وهكذا تساهم بجزء من قيمة تيار القاعدة علاوة على التيار المنساب فى مقاومة انحياز القاعدة R_B لذا ، يزيد تيار القاعدة الكلى عند اللحظة X عن تيار السكون [انظر شكل ٢] . وحيث أن قيمة كسب التيار للترانزستور تعادل 38.6 ، فان التغير فى قيمة تيار المجمع بالنسبة لقيمته الساكنة يزيد عن التغير فى قيمة تيار القاعدة بالنسبة لقيمته الساكنة

بما يعادل 38.6 مرة ، ومن الممكن أن تلاحظ هذه الزيادة لتيار المجمع فى شكل ١١ — ٣ [د] . هذا وتؤدى الزيادة فى تيار المجمع المنساب فى المقاومة R_L عند اللحظة X الى زيادة فى فرق الجهد بين طرفى R_L . وبالتالى تقل قيمة جهد المجمع عند اللحظة X عن قيمة جهد السكون للمجمع V_{CQ} [انظر شكل هـ] .

وسيلاحظ القارىء ان الشكل الموجى لجهد المجمع الكلى يتكون من اشارة مترددة او مركبة مترددة مضافة الى جهد السكون للمجمع . وبصفة عامة، يتركز الاهتمام بالمركبات المترددة فقط من الشكل الموجى لجهد المجمع ، حيث انها هى النسخة المكبرة لاشارة الدخل . لذا كان من اللازم فصل المركبات المترددة لجهد المجمع عن الاشارة الكلية ويعطى المكثف المانع C_2 الطريقة الملائمة لتنفيذ المطلوب . حيث يعوق المكثف جهد السكون للمجمع من الظهور بين طرفى الخرج ويسمح للمركبات المترددة فقط بالمرور مع فقد قليل . ولكى يستطيع المكثف أن يقوم بهذا العمل لابد ان تكون مفاعلة المكثف C_2 منخفضة عن اقل تردد تشغيل للمكبر . مرة اخرى ، نقرر ان المكثف C_2 هو مكثف الكتروليتى ذو سعة قيمتها حوالى 50 µF [يمكن استخدام قيمة فى المدى من 10 µF الى 100 µF طبقا لنوع التطبيق .

وعند تسليط اشارة جيبية جذر متوسط مربع قيمتها يساوى **10mV** على الدائرة بالشكل ١١ — ٣ [أ] عند تردد قيمته **1 kHz** ، وجد ان قيمة جهد الخرج تعادل **1.9 V** . علما بأن هذه الدائرة غير متصلة بحمل خارجى ، وفى هذه الحالة يعطى كسب جهد المكبر بالتعبير الاتى :

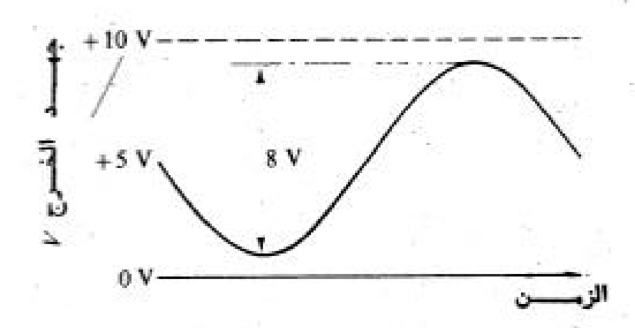
$$\text{كسب الجهد فى حالة اللاحمل} = A_v = \frac{\text{ج.م.م قيمة جهد الخرج}}{\text{ج.م.م قيمة جهد الدخل}}$$

$$= \frac{1{\cdot}9}{0{\cdot}01} = 190$$

أى أن الدائرة تكبر جهد الدخل بمعامل قدره **190** !

ومن احدى سمات هذا المكبر أن شكل موجة الخرج يضاد شكل موجة الدخل [انظر الاشكال ١١ — ٣ [ب] و ١١ — ٣ [و] . لهذا يوصف هذا المكبر **بمكبر عاكس الطـــور** .

ولنأخذ الآن فى الاعتبار التأثير الواقعى لقيمة كسب الجهد على قيمة اقصى جهد دخل V_i من الممكن تسليطه على الدائرة قبل أن تصبح اشارة الخرج مشوهة ومن الافضل توضيح ذلك من خلال شكل ٤ — ١١ . فمن الناحية النظرية ، يستطيع جهد المجمع أن يتغير او يتأرجح من ادنى قيمة وهى الصفر [وتحدث عندما تكون قيمة تيار القاعدة كبيرة كبراً كافيا لتضع الترانزستور فى حالة تشبع] .



شكل ١١ — ٤ القيود على اقصى قيم لتارجح الجهد .

الى قيمة ممكنة وهى مساوية لجهد المصدر [والتى تحدث عندما يساوى تيار القاعدة صفرا وعندما يعمل الترانزستور كقاطع] . وتتواجد عمليا عدة اسباب تدعو لعدم امكان الحصول على جهد التارجح هذا ، ولسوف نعطى هنا سببين منها . واول السببين هو صعوبة التوصل الى القيمة المثالية لجهد السكون للمجمع وهى Vcc/2 [5V فى الحالة المبينة بالشكل ١١ — ٣] باستخدام مكونات الدوائر المتاحة ، وتراوح جهد السكون بين 4.5 V الى 5.5 V يعتبر مقبولا . ويقلل هذا بطريقة فعالة من الرحلة القصيرة لجهد الذروة المسموح [اما عند الاتجاه الى القيمة الموجبة او عند الاتجاه الى القيمة السالبة] للشكل الموجى للمجمع الى قيمة تقل عن 5V . وثانى هذه الاسباب يرجع الى ان خواص خرج الترانزستور تصبح غير منتظمة اذا ما بلغت قيمة تيار القاعدة مقدارا صغيرا جدا او اذا بلغت مقدارا كبيرا جدا . فان اقترب تيار القاعدة من هذه النهايات ، يصبح شكل موجة جهد الخرج مشوها . وتبلغ اقصى قيمة معقولة لتارجح جهد المجمع [من الذروة الى الذروة] فى حالة مصدر جهد 10 V حوالى 8 V . وباستخدام قيمة كسب الجهد المحسوبة اعلاه فان قيمة جهد الدخل من الذروة الى الذروة التى تعطى خرجا لجهد التارجح مقداره 8V تكون :

$$8/190 = 0.042V - 42\ mV$$

ويكون جذر متوسط مربع [ج.م.م] قيمة V_1 المناظر للقيمة من الذروة الى الذروة هو $42/(2\sqrt{2}) = 15\ mV$ وحتى مع هذه القيمة لجهد الدخل ، سيظهر جهد الخرج بعض التشويه اذا ما قورن بموجة جيبية خالصة .

١١ — ٣ قواعـد سـهلة وواضحة لحساب قيم مكونات الدائرة

تصمم دوائر الكترونية كثيرة على اسس تتبع قواعد سهلة وواضحة قد تكون غير محققة الا انها مبنية على اسس علمية . دعنا نرى كيف يمكن تنفيذ التصميم الاساسى بالنسبة للدائرة الموضحة فى شكل ١١ — ٣ [أ] .

اولا ، يجب ان يتخذ قرار قيمة جهد المصدر وتيار التصريف المسموح به . ففى الدائرة المذكورة . يمكن أن نقرر استخدام مصدر قيمته 10 V مع تيار تصريف للمجمع حوالى 1 mA على اعتبار انها قيم مقبولة .

وللحصول على اكبر قيمة ممكنة لجهد الخرج المتارجح ، يتحتم أن يعادل جهد السكون للمجمع حوالى نصف مصدر الجهد اى لابد أن تكون قيمته حوالى 5V . ويتطلب هذا ، فى حالة السكون عندما يكون تيار المجمع قيمته 1 mA ، أن يظهر جهـــدا قـــدره 5V بين طرفى R_L . وهكذا فان :

$$R_L = 5\ V/0{\cdot}001\ A = 5000\ \Omega$$

وتصبح القيمة المناسبة التى يمكن تفضيلها للمقاومة هى 4·7 kΩ .

هذا ويعتمد تيار السكون للقاعدة على قيمة كسب التيار للترانزستور ولنفرض ان قيمة هذا الكسب تعادل 40 . اذن

$$I_{BQ} = I_{CQ}/40 = 1/40 = 0{\cdot}025\ mA\ or\ 25\ \mu A$$

وعند ما تمر هذه القيمة من التيار فى مقاومة انحياز القاعدة R_B ، يتحتم ان يساوى فرق الجهد بين طرفيها ما يلى :

[V_{CC} — فرق الجهد بين القاعدة والباعث للترانزستور]

وحيث ان الترانزستور المستخدم مصنوع من السليكون فان فرق الجهد بين قاعدته والباعث تبلغ حوالى 0.6 V وهذا يعطى فرق جهد بين طرفى R_B مقداره 9.4 V وبناء على ذلك ويكون

$$R_B = \frac{9{\cdot}4\ V}{25 \times 10^{-6}\ A} = 0{\cdot}376 \times 10^6\ \Omega\ or\ 376\ k\Omega$$

وتصبح القيم السابقة هى نقطة البداية لاختيار قيمة المقاومة R_B ، ولقد تقرر اختيار قيمة لها تساوى 330 kΩ بصفة نهائية .

معاوقة الدخل للمكبر : يلزم معرفة بعض المعلومات عن معاوقة الدخل للمكبر حيث ان هذه القيمة ـ كما سنرى فيما بعد ـ تعتبر مفيدة لحساب كسب الجهد للمكبر . فمعاوقة الدخل هى المعاوقة التى « ترى » من مصدر داخل الاشارة . وبفرض أن قيمة مفاعلة المكثف C_1 صغيرة ، تصبح مقاومة الدخل عبارة عن مجموعة التوازى للمقاومات المنهية عند توصيلة القاعدة للترانزستور وبمعنى آخر تتصل R_B على التوازى مع المقاومة بين القاعدة والباعث للترانزستور ، وقيمة المقاومة الاخيرة تعادل حوالى 1 kΩ فى حالة مكبر جهد الاشارة الصغيرة . وهكذا ، تكافىء معاوقة الدخل 1 kΩ على التوازى مع 330 kΩ والتى يمكن اعتبارها من الناحية الواقعية 1 kΩ .

القيمة الفعالة لمقاومة الحمل : تصبح القيمة الفعالة لمقاومة الحمل فى حالة غياب مقاومة الحمل الخارجى الموصل بين طرفى الخرج ، R_L والتى تساوى 4·7 kΩ فى شكل ١١ — ٣ [أ] . فاذا وصل حمل خارجى ، مثلا بمقاومة 1 kΩ بين طرفى الخرج ، تصبح القيمة الفعالة لمقاومة الحمل مساوية لتركيبة التوازى للمقاومة 1 kΩ و R_L اى 0·825 kΩ

كسب الجهد للمكبر : يعطى قيمة كسب الجهد للمكبر بالتعبير الاتى :

$$\text{كسب الجهد} = A_v = \text{كسب التيار} \times \frac{\text{القيمة الفعالة لمقاومة الحمل}}{\text{قيمة مقاومة الدخل للمكبر}}$$

باستخدام الارقام السابقة ، كسب الجهد بدون الحمل هو

$$38{\cdot}6 \times \frac{4700}{1000} = 181{\cdot}4$$

وسيلاحظ القارىء أن هذا يتفق الى حد كبير جدا مع القيمة المقاسة وهى 190 فاذا وصل حمل مقداره $1\ k\Omega$ ، تصبح القيمة النظرية لكسب الجهد

$$38{\cdot}6 \times \frac{825}{1000} = 31{\cdot}9$$

وقد وجد ان قيمة كسب الجهد المقاسة فى حالة وجود حمل بمقاومة $1\ k\Omega$ تعادل 33 .

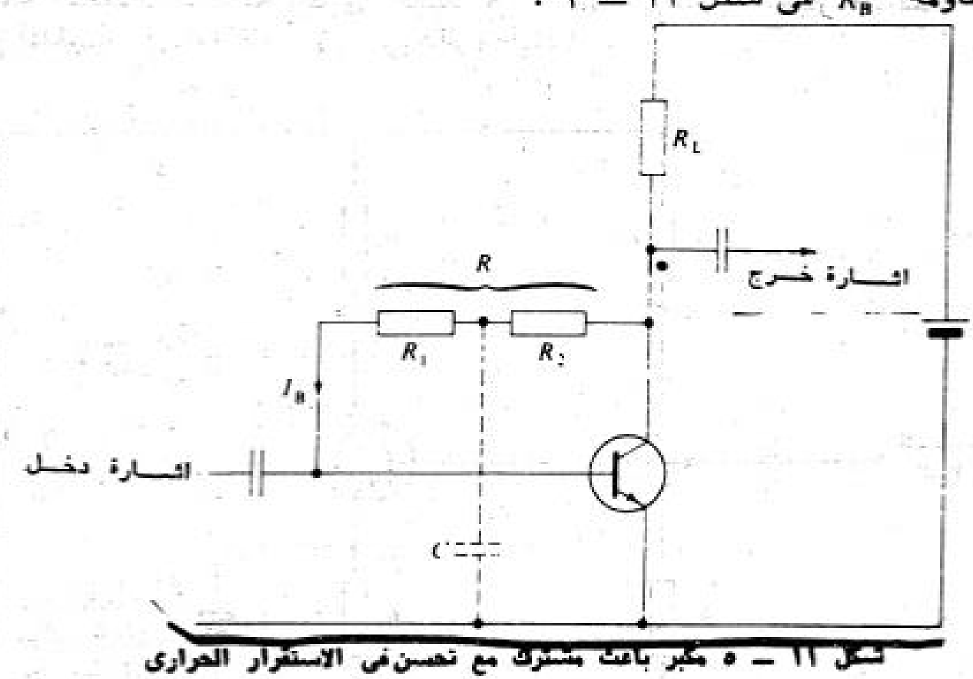
١١ ــ ٤ الاستقرار الحرارى للمكبرات

تتغير قيم كل من جهد السكون للمجمع وكسب الجهد عند تغير درجة الحرارة المحيطة التى تعمل عندها الدائرة المبسطة فى شكل ١١ ــ ٣ [أ] وتسبب الزيادة فى درجة الحرارة انخفاضا قليلا فى جهد المجمع . وقد يكون ارتحال قيم جهد السكون للمجمع وتغير قيم كسب الجهد امرا غير ملائم بالنسبة لكثير من المكبرات . ولذلك فقد استنبطت الدوائر العملية طرقا للحد من تأثير التغير فى درجة الحرارة المحيطة .

يعرف التغير البطىء فى جهد المجمع مع درجة الحرارة «بالانسياق » وهو نتيجة تغير نقطة تشغيل الترانزستور على منحنيات الخواص ، والتغير فى هذا الجهد . بدوره ، أن هو الا نتيجة للزيادة فى تيار المجمع عند الزيادة فى درجة الحرارة . وفى مكبرات الجهد تؤدى الزيادة فى تيار المجمع نتيجة للتأثيرات الحرارية الى زيادة القدرة المبددة فى الترانزستور ، ولكن هذا لا يتلف الترانزستور فى العادة وعلى اى حال ، يؤدى تأثير الحرارة الاضافية ، فى بعض مكبرات القدرة حيث يعمل الترانزستور قرب نهاية تقننيه . الى استحداث تيار حرارى يمكن ان يزيد من درجة حرارة الترانزستور ، مما يؤدى الى زيادة اكبر فى تيار المجمع عن ذى قبل . فاذا لم يمكن التحكم فى هذا التأثير السابق بطريقة ما، فقد تزيد الحرارة المتولدة فى الترانزستور عن حرارة التبريد للنبيطة .

فاذا تراكم هذا التأثير ، قد تستمر درجة حرارة الترانزستور فى الارتفاع ويزيد احتمال حدوث التلف التام . وتعرف هذه الظاهرة **بالانفلات الحرارى.** ونظرا للاسباب السابقة ، يصبح المكبر الاساسى فى شكل ١١ ــ ٣ [أ] ، غير مرض من وجهة نظر الاستقرار الحرارى .

ويتم التوصل الى بعض التحسينات فى الاستقرار الحرارى باستخدام الدائرة الموضحة فى شكل ١١ — ٥ . ففى هذه الدائرة : نحصل على التيار المستمر الانحيازى للقاعدة من جهد المجمع خلال مقاومة الشبكة R . لكى تعطى هذه الدائرة نفس حالات السكون الخاصة بالدائرة الاساسية على وجه التقريب تبلغ قيمة المقاومة R فى شكل ١١ — ٥ حوالى نصف قيمة المقاومة R_B فى شكل ١١ — ٣ .



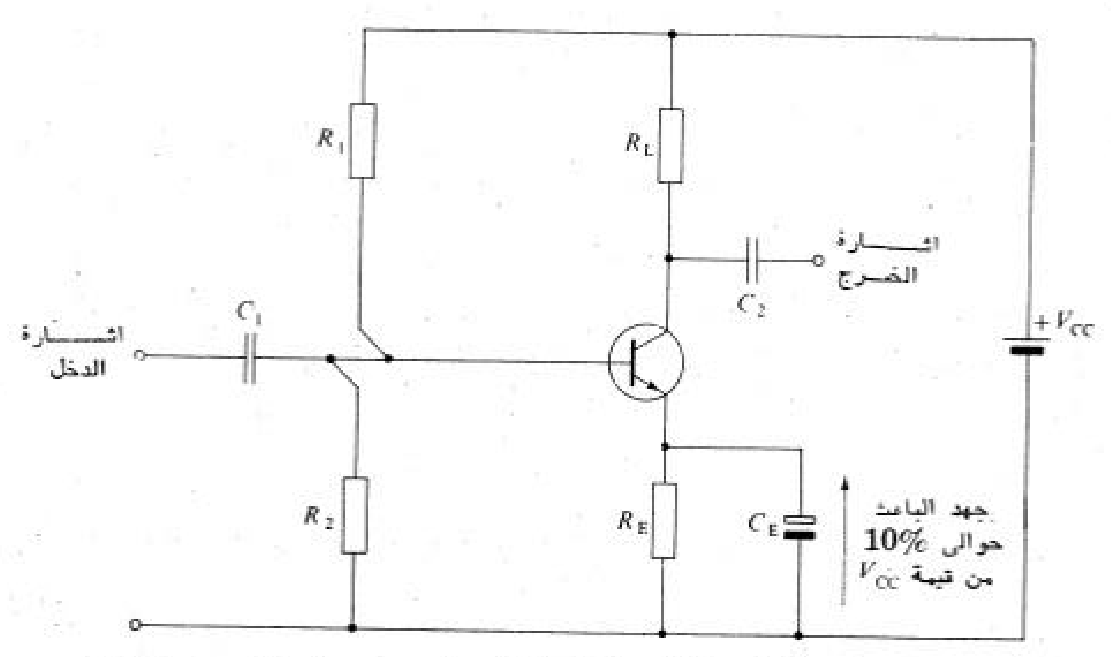
شكل ١١ — ٥ مكبر باعث مشترك مع تحسن فى الاستقرار الحرارى

اى ان قيمتها تعادل حوالى 165 kΩ . وسنوضح فيما يلى السبب الذى ادى الى ان تصبح دائرة شكل ١١ — ٥ احسن من الدائرة الاساسية عند مقارنتهما مع بعضهما البعض من وجهة نظر الاستقرار الحرارى . فلنفترض الان ان درجة الحرارة المحيطة بصدد الارتفاع ، هنا يجنح تيار المجمع معها الى الزيادة ويكون الاثر النهائى هو انخفاض جهد المجمع . وحيث أن احدى نهايات شبكة مقاومة الانحياز موصلة بالمجمع ، فان انخفاض جهد المجمع سيؤدى الى انخفاض مباشر فى قيمة تيار القاعدة I_B . ويؤدى هذا بالتالى الى الحد من ارتفاع قيمة تيار المجمع حتى حوالى 50% من القيمة التى يمكن ان تقع بالنسبة للدائرة الاساسية فى شكل ١١ — ٣ .

ومن عيوب ترتيبة شكل ١١ — ٥ ان التغير فى جهد المجمع عند تردد الاشارة [اى اشارة الخرج المترددة] يرتد ايضا ليغذى القاعدة ويحد من قيمة تيار القاعدة ويعرف هذا **بالتغذية المرتدة السالبة** : وكما سنرى فى الفصل الثالث عشر يمكن أن تؤثر على انخفاض قيمة كسب جهد المرحلة . ولكى نمنع هذا من الحدوث تهيأ نقطة تفرع متوسطة من سلسلة المقاومات بحيث توصل النقطة المتوسطة الى الخط المشترك خلال المكثف C [وهو الموضح بخط متقطع فى شكل ١١ — ٥] .

ويهيىء هذا المكثف مسلكا ذى مفاعلة منخفضة للتيارات المترددة للاشارة المناسبة فى R_2 وبذلك تمنع هذه التيارات من أن تمر فى قاعدة الترانزستور وقيمة المكثف C المناسبة فى هذه الحالة تبلغ حوالى 0.1 µF .

ويوضح شكل ١١ ــ ٦ دائرة كثيرة الشيوع وتعطى استقرارا حراريا افضل . ولقد هيئت هذه القيمة المرتفعة من الاستقرار الحرارى لهذه الدائرة نتيجة استخدام سلسلة مجزىء الجهد R_1 R_2 فى دائرة انحياز القاعدة مع المقاومة R_E والمكثف C_E فى دائرة الباعث .



شكل ١١ ــ ٦ مكبر شائع جدا ذو باعث مشترك على درجـــة عالية من الاستقرار الحرارى .

وتصبح وظيفة سلسلة مجزىء الجهد بالمقاومتين R_1 و R_2 هى التأكيد على دوام المحافظة على جهد التيار المستمر لقاعدة الترانزستور بقيمة تكاد تكون ثابتة على مدى درجة حرارة التشغيل للدائرة . ويتناسب جهد التيار المستمر الناتج بين طرفى المقاومة R_E مع قيمة تيار الباعث ، وتبلغ القيمة المتوسطة للجهد الظاهر بين طرفيها حوالى 10% من قيمة جهد المصدر V_{CC} فى العادة . ويتكون التيار الكلى للباعث من التيار المستمر « الساكن » ، بالاضافة الى التيار المتردد الناتج عن الاشارة . ومن اجل تحقيق استقرار حرارى يستلزم الامر أن يكون فرق الجهد بين طرفى R_E من التيار المستمر ، ولتحقيق هذا يتحتم تفويت المقاومة R_E بمسار له معاوقة ذات قيمة منخفضة حتى لا تمر المكونات المترددة من تيار الباعث فى هذه المقاومة . ويؤدى المكثف C_E هذا الدور وهو عبارة عن مكثف الكتروليتى سعته حوالى 100 µF او اكثر .

وفيما يلى نعرض الطريقة التى تهيىء بها هذه الدائرة الاستقرار الحرارى

المطلوب . فعند زيادة درجة الحرارة المحيطة ، تميل قيمة كل من التيار المستمر — للمجمع وكذلك تيار الباعث للزيادة . فتؤدي الزيادة في تيار الباعث الى زيادة القيمة المتوسطة لفرق الجهد بين طرفي المقاومة R_E ، ويرتفع جهد الباعث بالنسبة للخط المشترك . وحيث أن جهد منطقة القاعدة يحافظ على ثباته بواسطة المقاومتين R_1 و R_2 فان الزيادة في جهد الباعث بتأثير درجة الحرارة تؤدي بالتالي الى انخفاض فرق الجهد بين القاعدة والباعث . ويؤدى هذا الاقلال فى الجهد الى انخفاض مصاحب فى تيار القاعدة . وكما ذكر سابقا ، يؤدى الاقلال فى تيار القاعدة الى انخفاض القيمة المتوسطة لتيار المجمع الذى يعادل لدرجة كبيرة الزيادة فى تيار المجمع نتيجة ارتفاع درجة الحرارة . وتعادل الزيادة في تيار المجمع للدائرة فى شكل ١١ — ٦ حوالى مجرد خمس الى عشر قيمة الزيادة فى حالة الدائرة الاساسية فى شكل ١١ — ٣ وذلك مع قيم المكونات المعتادة التى تقابلها فى مثل هذا النوع من الدوائر .

وفيما يلى طريقة بسيطة وواضحة للاختيار المبدئى لقيم مكونات الدائرة المبينة فى شكل ١١ — ٦ . لنفترض أن قيمة V_{CC} تعادل **9 V** ، وان التيار المسحوب من المصدر يعادل حوالى **1 mA** . فاذا سمح لفرق جهد مقداره **1 V** ان يظهر بين طرفى المقاومة R_E ، فان $R_E = 1\ V/1\ mA = 1\ k\Omega$.
ولكى نحصل على درجة استقرار حرارى مقبولة ، يتحتم ان تساوى قيمة R_2 حوالى عشرة اضعاف R_E ، اى ان $R_2 = 10\ k\Omega$. ويمكن حساب قيمة المقاومة R_1 من المعادلة الاتية :

$$R_1 \simeq R_2 \times \frac{V_{CC} - \text{قيمة جهد السكون للقاعدة}}{\text{قيمة جهد السكون للقاعدة}}$$

وحيث ان الجهد بين القاعدة والباعث للترانزستور المصنوع من السليكون تعادل حوالى **0.6 V** ، فان قيمة جهد القاعدة بالنسبة الى الخط المشترك تصبح حوالى **1.6 V** ويكون

$$R_1 = 10\,000 \times \frac{9 - 1{\cdot}6}{1{\cdot}6} = 46\,250\ \Omega$$

ومن الممكن أن تختار قيمة مبدئية مقدارها $47\ k\Omega$ للمقاومة R_1 . وحيث ان جهد السكون للمجمع يجب أن يقع بين V_{CC} وجهد السكون للباعث (IV -) ، فيكون فرق الجهد بين طرفى R_L عندما يمر بها تيار **1m A** ما يعادل **45 V = 2/(1 — 9)** كذلك .

$$R_L = 4{\cdot}5\ V/1\ mA = 4{\cdot}5\ k\Omega$$

ومن الممكن اختيار قيمة مقدارها $3{\cdot}9\ k\Omega$ للقاوم R_L ويصبح كسب الجهد بالتالى لهذا المكبر فى حالة اللاحمل حوالى **200** . وعند توصيل حمل بالمكبر ، ينخفض كسب الجهد الفعال فى العادة بطريقة ملحوظة [انظر ايضا الجزء ٣ — ١١] ويصل كسب الجهد المحتمل فى حالة وجود الحمل حوالى **40** .

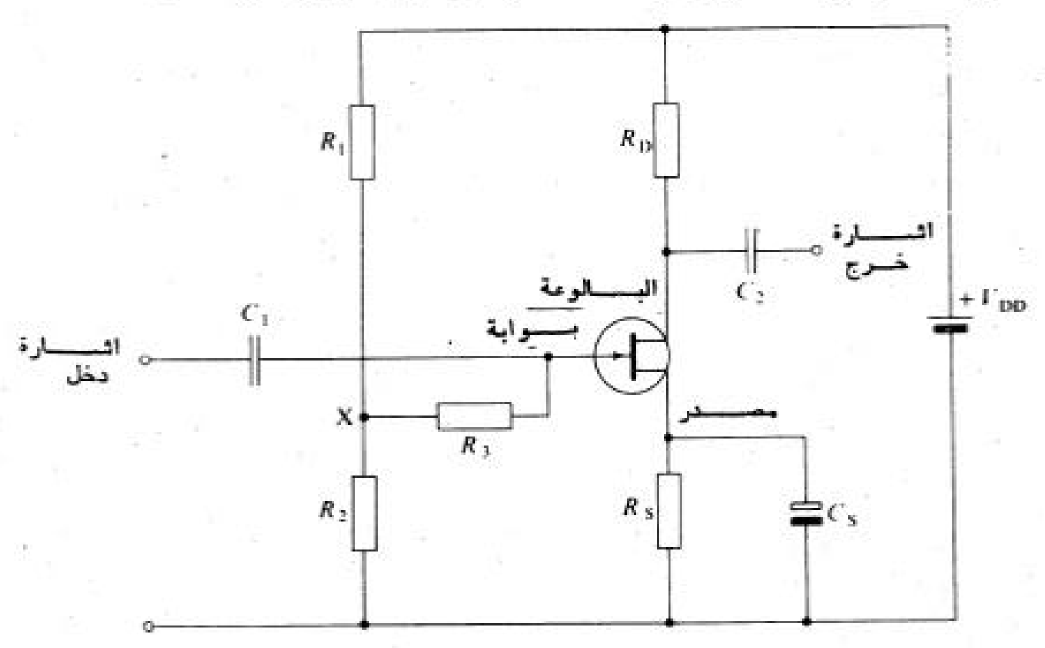
فاذا ظهر المكثف C_E فى شكل ١١ — ٦ كدائرة مفتوحة ، فان تيار الباعث كله ينساب خلال R_E . وينتج عن هذا تسليط تغذية خلفية مرتدة سالبة على المكبر ، وباستخدام القيم المحسوبة سابقا ، نجد ان كسب الجهد للمكبر يخفض بما يساوى 3 الى 5 عند اى عطل من هذا النوع ، كما سنرى فى الفصل الثالث عشر ، ومثل هذا النوع من الاعطال لا يسبب اى تلف للدائرة .

١١ — ٥ مكبرات ترانزستور التأثير المجالى

الانواع التى تستعمل بكثرة من ترانزستور التأثير — المجالى كمكبرات خطية هو بوابة وصلة ترانزستور التأثير المجالى ذات القناة السالبة والتى سبق ان وضحت فى الفصل التاسع .

والمميزات الاساسية لوحدات ترانزستور التأثير المجالى بالنسبة الى وحدات الترانزستور ثنائى القطب المنافس هى كبر معاوقتها الداخلية [فى العادة حوالى مليون ميجا اوم او اكثر بالنسبة الى $1\text{–}2\ k\Omega$ فى حالة النبائط ثنائية القطب] . ويستخدم ترانزستور التأثير المجالى فى التطبيقات التى تعطى هذه الخاصية ميزة معينة .

ويوضح شكل ١١ — ٧ النوع الشائع لدائرة مكبر ذات مصدر مشترك تستخدم بوابة وصلة ترانزستور التأثير المجالى ذات القناة السالبة وعلى منوال الاستنفاد . وكما سبق توضيحه فى الفصل التاسع يستلزم الامر عند التشغيل العادى لترانزستور التأثير المجالى ان تكون وصلة البوابة الى المصدر عكسية الانحياز . وفى هذه الدائرة ، نحصل على جهد الانحياز بواسطة مقاومة انحيازذاتية ، توصل على التوالى مع الكترود المصدر



شكل ١١ — ٧ مكبر ذى مصدر مشترك يستخدم بوابة وصلة ترانزستور التأثير المجالى ذات القناة السالبة .

هذا وتقع القيمة المتوسطة للجهد الناتج بين طرفى المقاومة R_S بين جزء من الفولت و 2V او 3v طبقا لنوع ترانزستور التأثير المجالى . وكما وضح سابقا فى حالة الترانزستور ثنائى القطب . يقوم المكثف C_S بتفويت مكونات التيار المتردد المار من المصدر ويصبح الجهد بين طرفى المقاومة R_S من نوع التيار المستمر . وهنا يسلط الجهد الناتج من شبكة مقاومات مجزىء الجهد R_2 و R_1 عند النقطة X الى بوابة ترانزستور التأثير المجالى بواسطة المقاومة R_S . وتقل القيمة الموجبة لهذا الجهـــد عن قيمة جهد الكترود مصدر ترانزستور التأثير المجالي ولهذا تصبح وصلة البوابة عكسية الانحياز .

وتعمل الدائرة كما يلي ، تقلل الزيادة فى جهد الاشارة من الانحيـــاز العكسى المسلط على بوابة ترانزستور التأثير المجالى ، كما تسبب فى الوقت نفسه زيادة لتيار البالوعة . وبالتالى يقل جهد البالوعة . اى ان المكبر يصبح عاكسا للطور . وتقل قيمة كسب الجهد لهذا النوع من المكبرات بصفة عامة ، كثيرا عن مكبر الترانزستور ثنائى القطب ، ويقع كسب الجهد فى حالة اللاحمل فى المدى من 5 الى 10 تقريبا . وبالمثل ، كما فى حالة الترانزستور ثنائي القطب ، ينخفض كسب الجهد بطريقة حادة اذا أظهر المكثف C_S دائرة مفتوحة .

ومع ذلك ، فالدائرة الموضحة ما هى الا نسخة اخرى من المكبر التقاربى بالتيار المتردد . اذ تعمل المكثفات C_1 و C_2 كتبانط مانعة لكل منجهـــد التيار المستمر واشارات التيار المتردد عند الترددات المنخفضـــة . ومن الممكن أن تستخدم فى هذه الدائرة قيم نمطية كالتالى .

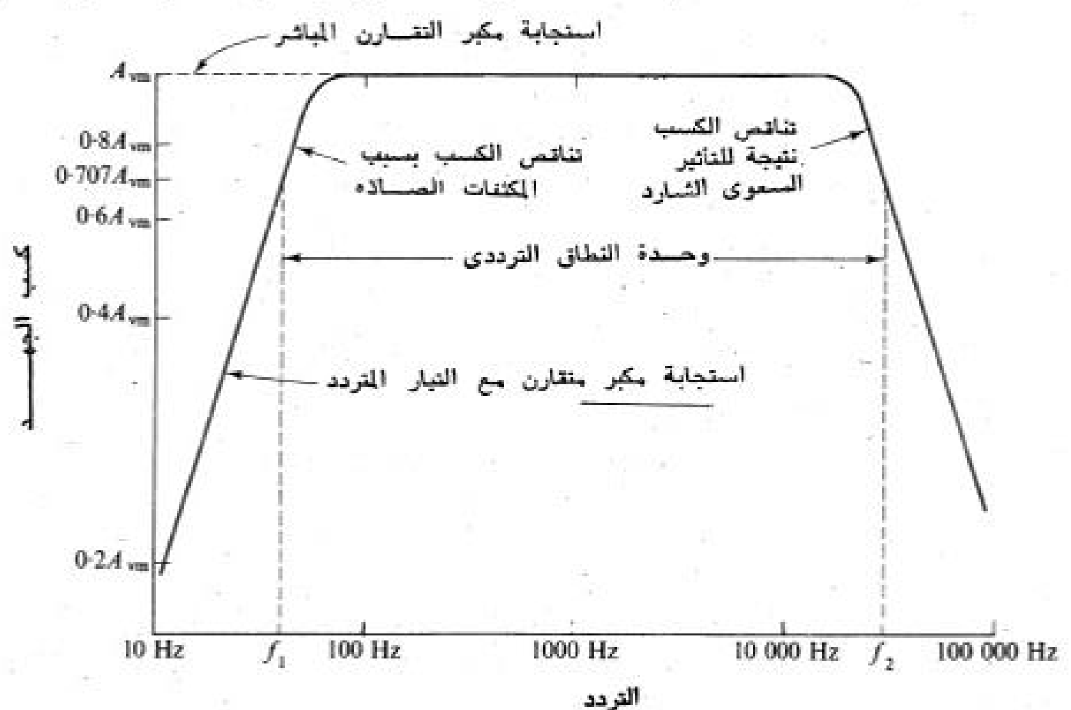
$V_{DD} = 18$ V	$R_S = 10$ kΩ
$R_1 = 15$ kΩ	$C_S = 5$ µF or greater
$R_2 = 3{\cdot}3$ kΩ	$C_1 = 47$ nF
$R_3 = 1$ MΩ	$C_2 = 50$ µF or greater
$R_D = 8{\cdot}2$ kΩ	

١١ ــ ٦ عرض النطاق الترددى للمكبر

سبق أن وضحنا فى الباب السادس باختصار عرض النطاق الترددي فيما يتعلق بدوائر الرنين ، وسيختص هذا الجزء بمعالجة عرض النطاق الترددى للمكبرات .

ان عرض النطاق الترددى للمكبر ما هو الا نطاق الترددات التى يعطى عندها المكبر كسبا يكاد أن يكون ثابت القيمة . ويوضح شكل ١١ ــ ٨ الطريقة الشائعة لتعريف النطاق الترددى للمكبر . يعرف هذا المنحنى ، **بمنحنى الاستجابة الترددى** للمكبر ، ويبين كيف يتغير كسب الجهد مـــع التردد

ان معرفة منحنى الاستجابة الترددى للمكبر لهى أمر حيوى ، لكى يتسنى فهم أداء المكبر فى كل مداه الترددى . ونحصل فى العادة على هذه الخواص بتسليط اشارة تيار متردد بين طرفى دخل المكبر ، ونبدأ فى زيادة تردد الاشارة تدريجيا . من قيم منخفضة حتى تصل الى قيمة مرتفعة جدا . وعند



شكل ١١ — ٨ منحنى الاستجابة الترددى لمكبر

كل قيمة للتردد ، تدون قيمة ج.م.م جهد الخرج وتحسب قيمة كسب الجهد ويرسم المنحنى بمعرفة قيم الكسب والتردد . ومن الممكن ان تتم مثل هذه الانواع من الاختبارات على خط الانتاج مباشرة باستخدام معدات اوتوماتيكية لترسم المنحنيات أما على مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات [انظر الفصل السادس عشر] أو على ورق رسم بيانى .

وسيلاحظ القارىء مقياس رسم غير عادى على كل من محورى الرسم البيانى فعند رسم هذه المنحنيات ، ترسم النتائج باستخدام مقياس رسم لوغارتيمى بحيث تمتد النتائج عند ادنى نهاية مدى التردد وتضغط النتائج عند أعلى نهاية المدى . وتمثل قيم الكسب المرسومة على المحور الراسى القيم العددية لكسب الجهد الا أنه فى التطبيق العملى ، يمثل كسب الجهد دائما بدلالة الديسيبل ، حيث كسب الجهد بالديسيبل = [القيم العددية لكسب الجهد] $20 \log_{10}$ فاذا كانت القيمة العددية لكسب الجهد هى 100 فان الكسب بالديسيبل يكون $20 \times \log_{10} 100 = 20 \times 2 = 40$ dB.

ويعتبر المنحنى المبين بالخط الممتلىء فى شكل ١١ — ٨ منحنى نمطى للمكبرات المتقارنة بالتيار المتردد والتى سبق وضعها . ويعرف عرض

النطاق الترددى لهذا النوع من المكبرات بنطاق الترددات ، f_2-f_1 والتى قيمة الجهد بينهما ما يساوى او يزيد عن $0.707A_{vm}$ ، حيث تمثل A_{vm} اكبر قيمة لكسب الجهد . هذا ولم يتم اختيار الرقم **0.707** بطريقة عفوية حيث انه يتمشى مع الحالة التى تساوى عندها كسب القدرة [لا كسب الجهد] نصف اقصى قيمة ممكنة لها ، فاذا كانت $f_2 = 30$ kHz $f_1 = 40$ Hz مثلا ، فان عرض النطاق الترددى يعادل **29960 Hz** والذى يمكن اعتباره من وجهة النظر الواقعية معادلا لـ **30 k Hz** اى انه يساوى بالتقريب f_2. ولقد عرفت الترددات f_1 و f_2 فى المراجع العملية بعدة اسماء منهـــا ترددات ركنية « زاوية » ، ترددات قطع ، نقطتى الانهيار ، ونقطتى منتصف القـــــدرة .

وتجدر الاشارة فى هذا المجال الى اسباب ظهور منحنى الاستجـــابة للتردد بهذا الشكل . ولقد سبق أن اشرنا الى سبب انخفاض كسب الجهد عند الترددات المنخفضة فى مجال توضيح عمل المكثفات المانعة المستخدمة مع مكبرات التقارن بالتيار المتردد . اذ تزداد مفاعلة المكثفات المانعة عند انخفاض تردد الاشارة الى النقطة التى تمتص عندها جزءا ملموسا من اشارتى الدخل والخرج . وهكذا يقلل مكثف الدخل المانع ، فى هـــذه الحالة ، جزءا من اشارة الدخل التى تسلط فعليا على منطقة القاعدة [او البوابة] للترانزستور ، مما يؤدى الى انخفاض كل من جهد الخرج وكسب الجهـــد .

وتستطيع طائفة من المكبرات تسمى مكبرات التيار المستمر ، والتى تضم طوائف جزئية من **مكبرات التقارن والمكبرات القطاعه** ، ان تكبر بالنسبة لجميع الترددات ابتداء من التيار المستمر [تردد قيمته صفر] الى تردد القطع العلوى لها . ويمتد منحنى الاستجابة فى شكل ١١ — ٨ بالخط المتقطع الى الترددات بقيمة صفر لمثل هذا النوع من المكبرات .

هذا وترتبط اشارة الدخل مباشرة بدخل المرحلة الاولى لمكبرات التقارن المباشر ويتم التوصيل مباشرة بين المراحل المتتالية .

وتعتبر المكبرات التشغيلية التى ستوضح فى الفصل الرابع عشر امثلة واقعية لمثل هذا النوع .

اما فى المكبرات القطاعة ، فان الاشارة المستمرة الداخلة تقطع الى سلسلة من النبضات باستخدام مفتاح من مادة شبه موصلة ، والتى تحول بعدئذ الى اشارة مترددة وتوصف هذه العملية فى بعض الاحيان «بالتضمين» . وتكبر هذه الاشارة بواسطة مكبر تقارن متردد وعند خرج المكبر القطاع يستخلص المضمنة من الاشارة المترددة لتعطى اشارة مستمرة . وتستخدم المكبرات القطاعه بكثرة فى تطبيقات اجهزة القياس حين يراد قياس كمية صغيرة جدا من الجهد .

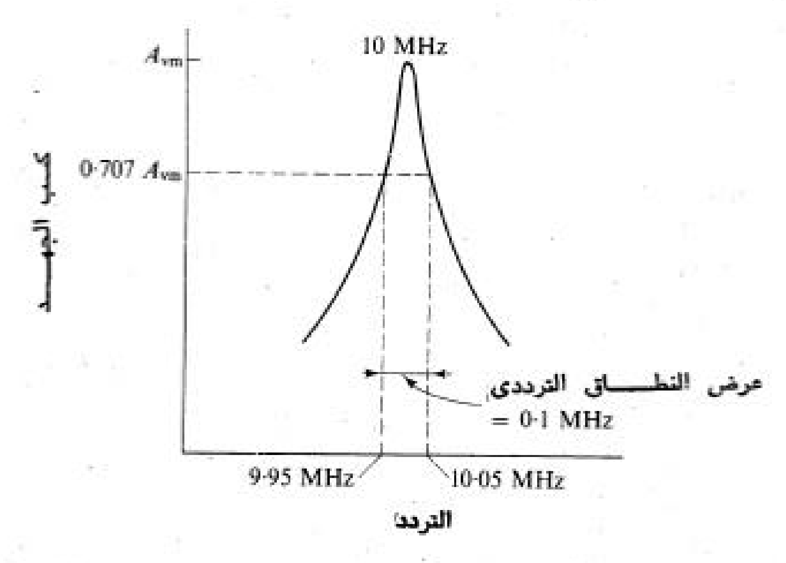
هذا ويرجع السبب فى انخفاض كسب الجهد ، عند نهاية التردد المرتفع

لمنحنى الاستجابة الترددى ، الى تأثير معين لم تسبق مناقشته . فنظرا لان الاسلاك والمكونات فى دائرة المكبر تكون منفصلة عن هيكل المعدات ، فان كلا منهما يمتلك ذاتية تكون متلازمة معه وتظهر بين أى منها وبين الهيكل وتعرف هذه المكثفات بالسعات الشاردة هذا ومن ضمن صفات أى مكثف أن مفاعلة تقل بارتفاع التردد [تذكر $X_C = 1/(2\pi f C)$] فعند الترددات المرتفعة ، تقل مفاعلة المكثفات الشاردة وتستأثر بالتيار من المكبر ، حتى تؤدى الى دائرة قصر كاملة على خرج المكبر عند الترددات العالية جدا . ويؤدى هذا الى انخفاض متزايد فى كسب الجهد عند الترددات العالية .

١١ — ٧ مكبر موالف

يعطى المكبر الموالف قيمة كسب جهد مرتفع على نطاق ضيق من الترددات وقيم كسب منخفضة جدا عند كل الترددات الاخرى .

تستخدم المكبرات الموالفة عادة فى تطبيقات الترددات العالية ، ويوضح شكل ١١ — ٩ منحنى استجابة [نمطى] لمكبر موالف عند تردد [اللاسلكى] [راديو] ونحصل على عرض النطاق الترددى الضيق الموضح فى الشكل (0.1 MHz عند تردد 10 MHz) باستخدام دوائر موالفة ذات معامل جودة Q مرتفع .



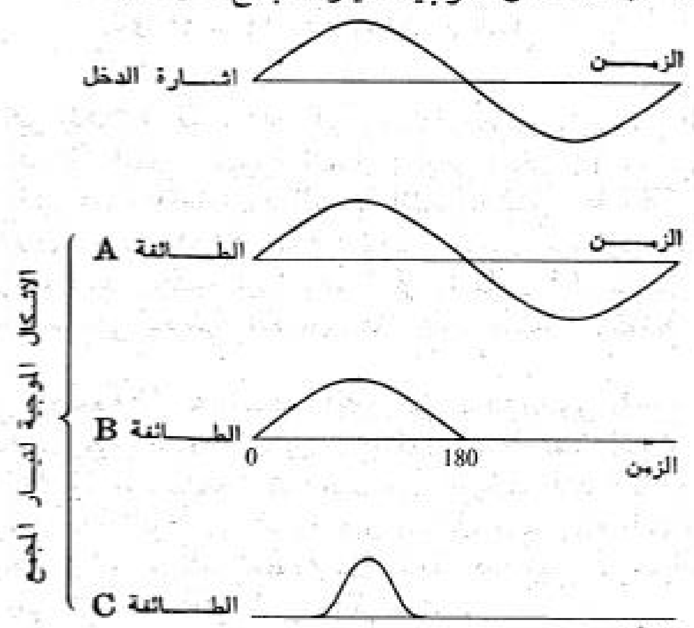
شكل ١١ — ٩ منحنى الاستجابة الترددى لمكبر موالف .

١١ — ٨ مكبرات القدرة

مكبرات القدرة هى المكبرات التى يكون الاعتبار الاول فيها للقدرة المعطاة للحمل باكبر كفاءة ممكنة [ومن الممكن أن يكون الحمل عبارة عن نبيطة

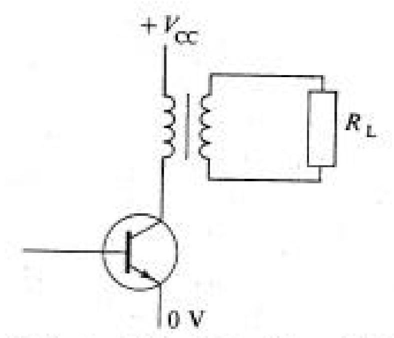
الكتروميكانيكية مثل المجهار او قياس محرك كهربائى . ويكتسب الشكل الموجى للخرج من مكبرات القدرة فى بعض الحالات تشوها قليلا ، وتعتمد كمية التشويه المقبولة على نوع التطبيق .

وعند هذا الحد ، ربما يجدر بنا مناقشة طوائف او درجات تشغيل المكبر، ففى احدى الطرق المستخدمة لتقسيم عمل المكبرات تعتبر دورة الاشارة التى ينساب التيار خلالها فى ترانزستور الخرج هى الفيصل . وتوجد هناك ثلاثة طوائف اجمالية تعرف بالطائفة A والطائفة B والطائفة C ، ويوضح شكل ١١ ــ ١٠ الاشكال الموجية لتيار المجمع لكل منها .



شكل ١١ ــ ١٠ الاشكال الموجية لتيار المجمع فى مكبرات الطائفة A والطائفة B والطـــائفة C

ففى مكبرات الطائفة A ، ينساب التيار فى ترانزستور الخرج خـــلال فترة الذبذبة الكاملة لدورة الدخل ، ويتطابق اسلوب العمل فى هذه الحالة مع اسلوب مكبرات الجهد التى سبق توضيحها فى هذا الباب . ومن الجدير بالذكر ان اكبر كفاءة قدرة محولة بين نظام مصدر القدرة والحمل للمكبر من النوع الموضح فى شكل ١١ ــ ٦ عندما ما يعمل على اسلوب الطائفة A لا تتعدى 25% وتزداد كفاءة المكبر اذا تقارن الحمل مع الدائرة عن طريق محول كما هو مبين فى شكل ١١ ــ ١١ . وتكون قيمة اكبر كفاءة فى هذه الحالة 50% من الوجهة النظرية ولسوء الحظ يمثل محول الخرج فى مثل هذه الدوائر واحدا من المصادر الرئيسية لتشويه الاشارة ، ويؤدى الى اداء غير جيد فى كثير من مكبرات القدرة الرخيصة . ومن الناحية الواقعية، تقل ، قيم الكفاءة التى نحصل عليها بكثير عن هذه القيم .



شكل ١١ ــ ١١ محول متقارن مع الحمل .

اما فى مكبر الطائفة B ، فان التيار ينساب فى ترانزستور الخرج خلال نصف فترة الذبذبة الكاملة لدورة الدخل [انظر شكل ١١ ــ ١٠] وينبغى أن نقرر بأن اكبر قيمة للكفاءة من الناحية النظرية تبلغ 78.5% فى هــذه الحالة . وتعمل معظم مكبرات قدرة التردد السمعى باسلوب الطائفة B [انظر مكبرات دفع وجذب فيما بعد] او بأسلوب يقترب من اســلوب هذه الطائفة ويضحى بخطية الكسب هنا على حساب الكفاءة .

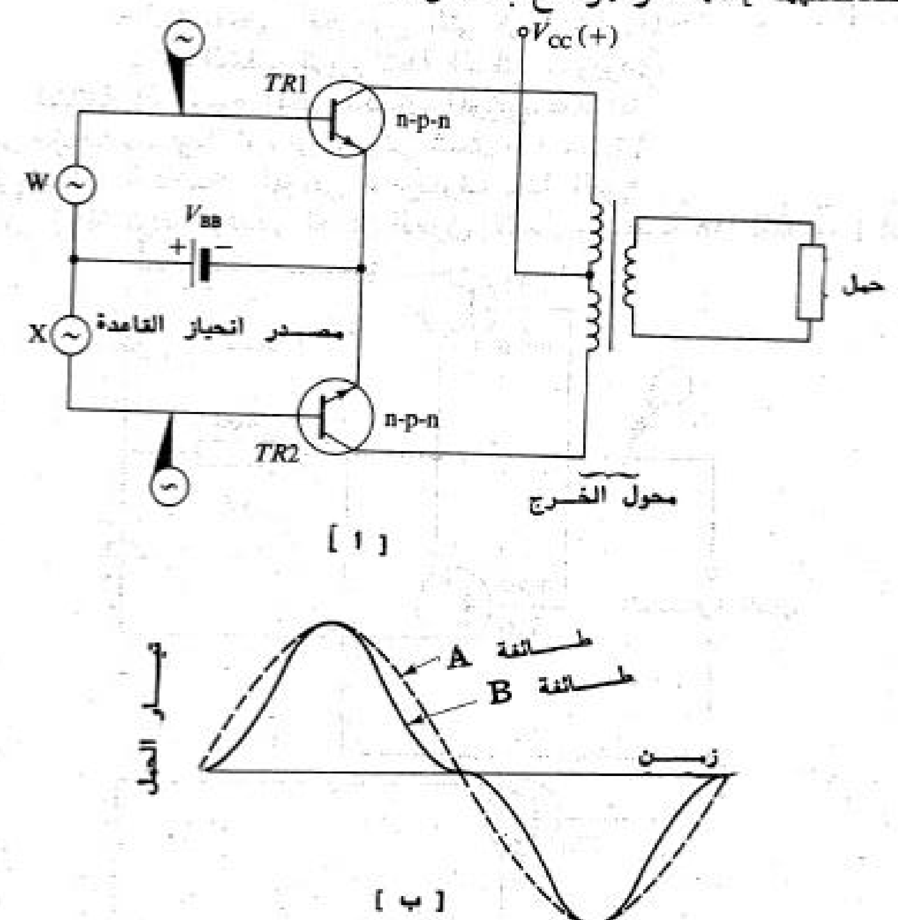
وفى مكبر الطائفة C ، ينساب التيار فى ترانزستور الخرج اثناء فترة تقل عن نصف موجة اشارة الدخل . وتكون كفاءة هذا النوع أحسن من مكبرات الطائفة B ، ولكنها لا تستخدم فى مكبرات القدرة للتردد السمعى بسبب ما يجلبه هذا النوع من تشوه غير محتمل ومع هذه الطائفة تستخدم بعض المكبرات دوائر موالفة مكونة من LC كما يتبع فى حالة المكبرات التى تعمل على ترددات اللاسلكى والذبذبات .

مكبرات جذب ــ دفع : كنتيجة لفحص الشكل الموجى لتيار المجمع للمكبر الذى يعمل فى الطائفة B [أنظر شكل ١١ ــ ١٠] يتبين أنه ليس من الممكن استخدام ترانزستور واحد فقط ، حيث أن شكل موجة التيار ان هو الا نسخة مترجمة من تقويم اشارة الدخل . وحتى يتسنى ازالة هذا العيب، تستخدم وحدتان من الترانزستور لترجعا شكل موجية الخرج الى شكلها الصحيح . ويوضح شكل ١١ ــ ١٢ الترتيبة الشائعة لدائرة تعمل فى الطائفة B كمكبر دفعى ــ جذبى وليست صورة هذه الدائرة مقتصرة على الطائفة B ، وانما يمكن استخدامها بالاضافة مع وحدات ترانزســتور منحازة لكى تعمل فى الطائفة A . وينبغى أن نوجه الانتباه الان الى نظام عمل دوائر الطائفة B .

وقد يتذكر القارىء طبقا لخواص وحدات الترانزستور ان الامر يستلزم انحيازا اماميا بين القاعدة والباعث قبل ان يبدأ انسياب تيار المجمــع . ولتهيئة الظروف الملائمة للعمل مع مكبر الطائفة B ، يجب أن تســاوى الــ . ق.د.ك لبطارية انحياز القاعدة فى شكل ١١ ــ ١٠ ، قيمة جهــد القطع للترانزستور بالضبط ، بحيث تصبح قيمة تيار السكون فى كلتا وحدتى

الترانزستور مساوية للصفر . وبالتالى لاينساب التيار فى أى من نصفى الملف الابتدائى للمحـول الى ان تسلط اشارة تدفـع وحدة من وحدتى الترانزستور لكى تصبح امامية الانحياز .

ولتشغيل المكبر دفع ـ جذب المبين فى شـكل ١١ ـ ١٢ ، تدعـو الحاجة الى اشارتى دخل X و W وتضاد كل اشارة الاشارة الاخرى ؛ [لتعاكسهما] كما هو موضح بالشكل ،



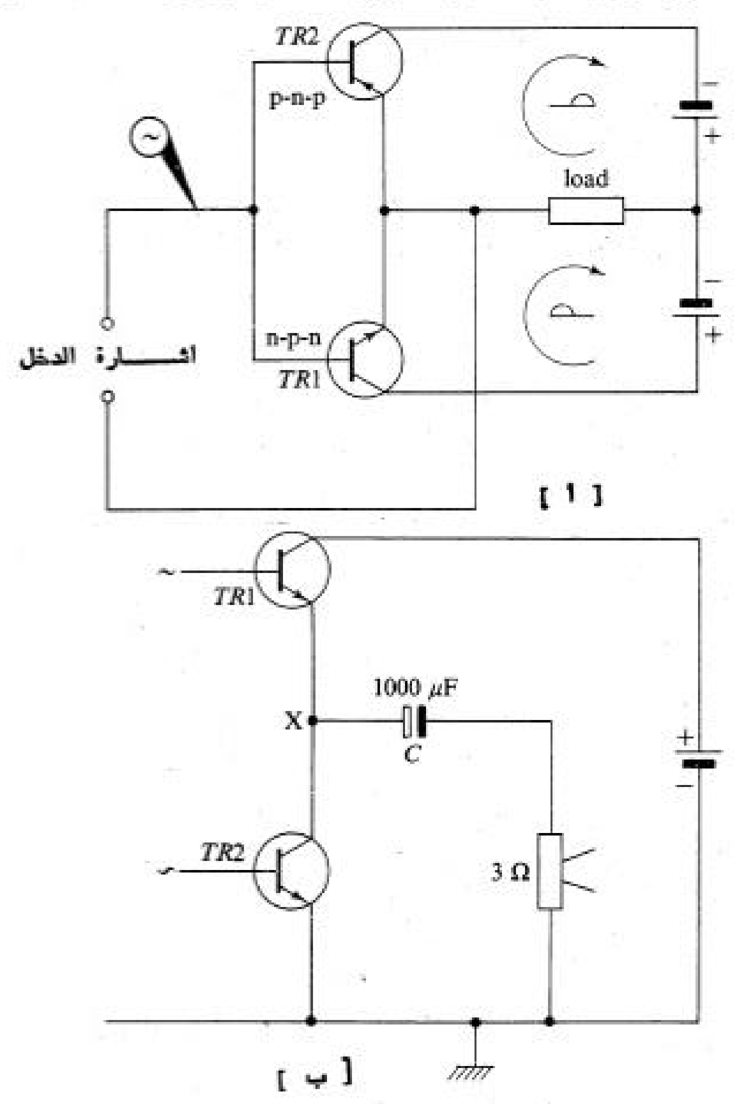
شكل ١١ ـ ١٢ فكرة عمل مكبرات دفع وجذب [ب] الاشكال الموجية لتيار الحمل

ويمكن الحصـول عليهما من الملف الثانوى لمحـول ذى نقطـة تفرع متوسطة او من دائرة شطر الطور الالكترونية هذا ويسلط جهد موجب على قاعدة الترانزستور TR ، لتصبح موصلة خلال النصف الاول من دورة اشارة الدخل W ، وتسمح للتيار ايضا فى الحمل [حيث ان جهدا سالبا يسلط على قاعدة الترانزستور TR2 فى نفس الفترة الزمنية ، فانها تصبح فى حالة قطع ، وبالتالى لا ينساب أى تيار فى النصف السفلى للملف الابتدائى لمحول الخرج خلال هذه الفترة .

وينعكس الحال خلال النصف الثانى لدورة كل من موجتى الدخل اى أن

TR1 يصبح فى حالة قطع ويصبح TR2 فى حالة توصيل . وهكذا ينساب التيار فى النصف السفلى للملف الابتدائى ذو نقطة التفرع المتوسطة لمحول الخرج ولكنه لاينساب فى النصف العلوى . ويؤدى ذلك الى تأثير عكسي بالنسبة لاتجاه التيار المنساب خلال الحمل . هذا وتكرر العملية السابقة خلال كل دورة من اشارة موجة الدخل ، وبهذه الطريقة ، يتماثل الشكل الموجى للتيار المنساب خلال الحمل مع اشارة الدخل .

ولسوء الحظ ، تنحنى الخواص التى تربط تيار المجمع بجهد الدخل للترانزستور ثنائى القطب قرب نقطة القطع . ويؤدى هذا الى تأثير على مكبر الطائفة اذ يشوه المكبر الشكل الموجى عند المنطقة التى تصبح قيمة التيار عندها مساوية للصفر . وفى شكل ١١ ــ ١٢ [ب] يتضح هذا التأثير بالنسبة للشكل الموجى . ويعرف هذا النوع من التشوه بالتشوه المفرقى [المشترك] وتدعو احدى الطرق للاقلال من قيمة هذا التشوه [الى



شكل ١١ ــ ١٢ الدوائر الاساسية لمراحل قدرة الخرج للتردد السمعى بدون محول

زيادة قيمة جهد الانحياز للقاعدة V_{BB} ، بحيث يعمل المكبر بصفة جزئية فى كل من الطائفتين A و B . وينسب هذا الاسلوب من العمل للطائفة AB .

فاذا كان جهد انحياز القاعدة كبيرا بالدرجة الكافية ، تستطيع مكبرات الدفع — جذب ان تعمل فى الطائفة A .

مراحل خرج قدرة بدون محول :

من الافضل تجنب تصميم المكبرات باستعمال المحولات حينما يكون ذلك ممكنا والسبب هو انها غالية الثمن وكبيرة الحجم وتسبب تشوها للاشارة . ويوضح شكل ١١ — ١٣ دائرتين أساسيتين لمرحلتى خرج قدرة بدون محول .

وتستخدم الدائرة التى فى شكل ١١ — ١٣ [أ] ترانزستور سى — م — سى ، وترانزستور م — سى — م لهما خواص متماثلة . وتوصف هذه الانواع من ازواج الترانزستور بأن لها تماثل متتام . وتسلط اشارة الدخل المشترك على كل من نقطتى القاعدة لوحدتى الترانزستور ، ويوصل ترانزستور واحد فقط خلال كل نصف دورة لموجة الدخل . فيصبح الترانزستور TR1 موصلا خلال نصف الدورة الموجب ، وينساب التيار خلال الحمل من الشمال الى اليمين . ويوصل الترانزستور TR2 خلال نصف الدورة السالب لاشارة الدخل وينعكس اتجاه تيار الحمل .

ويوضح شكل ١١ — ١٣ [ب] نوعا شائعا لدائرة الخرج ، يستخـدم مصدر قدرة واحد مع وحدتى ترانزستور من نفس النوع . وتعمل هـذه الدائرة فى الطائفة AB بحيث تبلغ قيمة جهد توصيلة الباعث المشترك حوالى نصف قيمة مقدار جهد المصدر . هذا وتولد دائرة الكترونية اشارتين متضادتين [متعاكستى الطور] وتسلط الاشارتان على قاعدتى وحـدتى الترانزستور ، ويتسبب عن اشارة الدخل توصيلا اكثر شدة لوحدة من وحدتى الترانزستور وتوصيل اقل شدة للوحدة الاخرى . وتكون النتيجة ان التطبية اللحظية لنقطة X فى شكل ١١ — ١٣ [ب] تتبع تغيرات اشارة الدخل . وينتقل هذا التغير فى الجهد خلال المكثف العائق C الى الحمل .

١١ — ٩ الترانسـستور كمفتــاح

للمفتاح الالكترونى الصفات الاتية :

[أ] عندما يكون مفتوحا OFF ، لاينساب خـلاله تيار ويظهر جهد المصدر بالكامل بين طرفيه .

[ب] عندما يكون مغلقا ON ، ينساب خلاله تيار ذو قيمة كبيرة ويكون فرق الجهد بين طرفى المفتاح من الناحية الواقعية مساويا للصفر .

تستخدم كل من وحدتى الترانزستور الثنائية القطب وترانزستور التأثير — المجالى كمفاتيح الكترونية ، ولكن نظرا لبعض الاعتبارات . فان خواص هاتين الوحدتين من الترانزستور لا تحقق المثالية المذكورة سابقا .

ولتوضيح هذه النقطة، دعنا نأخذ فى الاعتبار المنحنيات المميزة لخرج الباعث المشترك المبينة فى شكل ١١ — ١٤ . يقال أن الترانزستور مغلق ON او تشبع عندما يعمل عند النقطة B من المنحنيات المميزة. وفى هذه الحالة، يمر بوحدة الترانزستور تيار ذو قيمة كبيرة [مثلا 10 mA] وتصبح قيمة الجهد بين طرفيه [المجمع والباعث] عند اقل قيمة لها فى حدود 0.1V الى 0.3V وعندما يعمل الترانزستور بأسلوب الباعث المشترك ، يصبح للترانزستور مقاومة ذات قيمة معينة بصفة دائمة ويظهر بين طرفيه جهد ذو قيمة صغيرة. هذا ويقال أن الترانزستور الذى يعمل عند النقطة B فى **القاع** ، حيث يصل جهد مجمعه الى اقل قيمة ، ويصبح الترانزستور فى حالة عدم توصيل OFF [فى حالة قطع] عندما تقل قيمة تيار القاعدة الى الصفر ، وفى هذه الحالة، يقترب الترانزستور من حالة المفتاح المثالى ، حيث يمكن ان تقع قيمة تيار التسرب خلال الترانزستور فى حدود بضعة نانو أمبير[$1\ nA = 10^{-9}\ A$] .

وعند استخدام الترانزستور كمفتاح ، فانه يصبح اما فى حالة قطع او فى حالة توصيل طــول الوقت ويمكن ان يســتغرق الزمن الذى يأخــذه الترانزستور لينتقل من حالة الى اخرى حــوالى 20 نانو ثانية تقريبــا

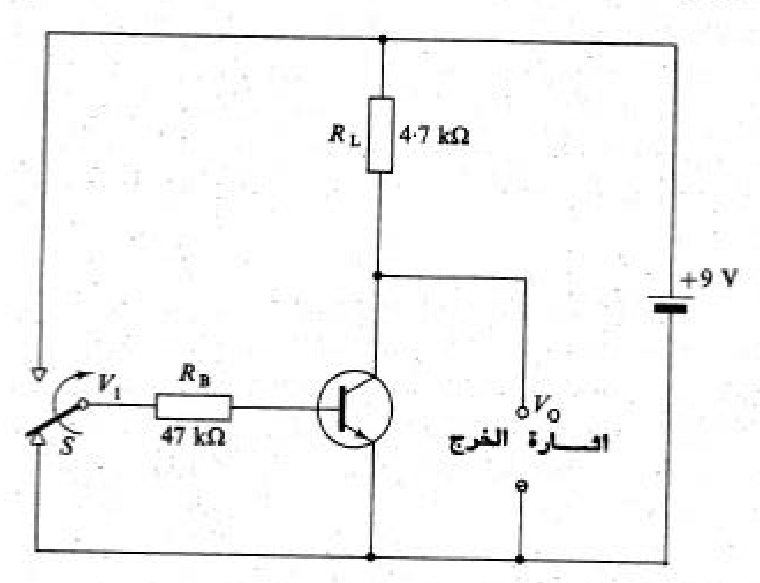


شكل ١١ — ١٤ المساحات الموضحة على خواص الخرج للترانزستورات ثنائية القطب المستخدمة فى عمليات القطع والتوصيل

١١ — ١٠ الدائــرة الاســاسية لمفتــاح ترانزســتور

يوضح شكل ١١ — ١٥ دائرة المفتاح الالكترونى البدائى . ففى هــذه الحالة ، تكون قيمة مقاومة القــاعدة R_B منخفضة اذا قورنت بقيمتها 330 kΩ المستخدمة فى حالة المكبر الخطى [شكل ١١ — ٣] . وكما

سنرى فيما يلى ، اختيرت القيمة المنخفضة للمقاومة $47\,k\Omega$ فى شكل ١١ — ١٥ للتأكد من ان الترانزستور خلال عمله كمفتاح يستطيع أن يقطع بالـكامل .



شكل ١١ — ١٥ الدائرة الاساسية لمفتـــاح الكترونى [بوابة لاسماح] .

ولنأخذ الان فى الاعتبار عمل الدائرة عند مايكون فصل المفتاح S فى الوضع المبين . ففى هذه الحالة ، تكون قيمة كل من V_1 وتيار القاعدة مساوية للصفر . ففى اسلوب العمل هذا ، يصبح الترانزستور قاطعـا [فيما يناظر العمل عنـد النقطة A من منحنى الخواص فى شكل [١١ — ١٤] ويكون تيار المجمع مساويا للصفر . وفى حالة اللاحمل بين طرفى الخرج ، لاينساب اى تيار خلال المقاومة R_L ولا يتساوى جهد الخرج مع قيمة جهد المصدر [$+ 9V$]

وعند تحريك فصل المفتاح S الى وضعه العلوى ، ينسـاب التيار فى قاعدة الترانزستور خلال المقاومة R_B على أن تكون القيمة المختارة للمقاومة R_B صغيرة صغرا كافيا . وللتأكد من عودة الترانزستور الى التشبع ، فى هذه الحالة ، فان قيمة جهد الخرج تقع فى المـدى من 0.1 V الى 0.3V ويمكن استخدام العلاقات الاتية ، كارشاد تقريبى لقيم المكونات المستخدمة فى الدائرة .

$$R_L = \frac{\text{قيمة جهد المصدر}}{\text{اكبر قيمة لتيار المجمع}}$$

$$R_B \cdot = R_L \times \text{قيمة كسب التيار للترانزستور}$$

١١ ـ ١١ الدلالة الثنائية

ان النظام الثنائى ما هو الا عبارة عن نظام ذى مستويين او نظام ذى طبقتين ، حيث يتخذ خرج اشارة كل عنصر فى هذا النظام ، بكل تأكيد ، حالة واحدة فقط من حالتين متميزتين فيتخذ الرقم فى نظام الاعداد الثنائية قيمة وحيدة من قيمتين اما الصفر (0) او الوحدة (1) . وفى علم الالكترونيات ، وتستعمل دائما كلمة بيت *bit* وهى اختصار كلمتى رقم ثنائى فى اللغة الانجليزية binary digit ، عند وصف كيفية تشغيل النظم المنطقية .

وبما أن جهد الخرج من دائرة القطع او التوصيل الالكترونية اما ان يكون صفرا او يكون له جهد موجب [انظر شكل ١١ ـ ١٥] ، فانه من الممكن اعتبارها كدائرة تعمل بالرموز الاصطلاحية الثنائية . وانه لامر مألوف فى التطبيق ان يوصف جهد الخرج بالمنطق «O» عندما تكون قيمة الفعلية تساوى الصفر ، بينما يوصف بالمنطق «1» عندما يتخذ قيمة عالية . ويعرف هذا الوصف بالدلالة المنطقية الموجبة .

علما بأن القيمة الفعلية لجهد الخرج من الدائرة نفسها تصبح قليلة المغذى ، حيث يمكن وصف نطاق من الجهد فى المدى من 0V الى 0.5V مثلا بالمنطق «O» بينما يوصف النطاق من الجهد فى المدى من 4.5V الى 9V مثلا بالمنطق «1» ويقع جهد الخرج فى واحد من هذين النطاقين عند التشغيل ويتخذ له قيمة بين هذين المستويين المنطقيين فى فترة الزمن القصيرة جدا عند الانتقال من حالة الى حالة اخرى .

١١ ـ ١٢ بوابة اللاسماح المنطقية

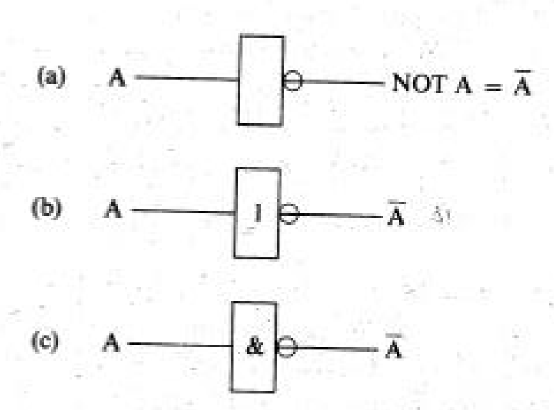
يعرف عنصر الدائرة الثنائية او العنصر المنطقى ، كما يسمى فى بعض الاحيان بالبوابة الالكترونية ويرجع السبب فى هذه التسمية الى العنصر المنطقى الذى اما ان يكون مفتوحا ليسمح بانسياب المعلومات ، او يمكن أن يكون مغلقا لمنعها . ويعطى لكل بوابة على حدة اسم معين يمكن ، لاقصى حد ممكن ، ان يصف الوظيفة التى تؤديها . فواحدة من هذه البوابات مثلا هى بوابة اللاسماح NOT .

وكما عرض فى الفصل ١١ ـ ١١ تستطيع كمية ثنائية او متغير ثنائى أن تتخذ قيمة واحدة فقط من قيمتين عند أية لحظة زمن . وحيث أن الكمية الثنائية تستطيع ان تتخذ اما القيمة «1» او القيمة «O» فانها تكون «I» NOT عندما تتخذ القيمة «O» وتكون «O» NOT عندما تتخذ القيمة «1» وتوصف اية دائرة الكترونية ، بخط دخل وحيد له اشارة خرج تتخذ قيمة منطقية بعكس اشارة الدخل ، ببوابة لاسماح NOT . وقد اشتق هذا الاسم بكل بساطة من منطلق الحقيقة أن اشارة الخرج NOT تساوى القيمة

المنطقية لاشارة الدخل . وفى مثل هذه الدوائر ، يقال ان الخرج هو المتمم المنطقى أو العاكس المنطقى لاشارة الدخل ويوضح شكل ١١ — ١٦ الرموز التقليدية لمثل هذا النوع من دوائر البوابات وتمثل عملية التعاكس المنطقى ببساطة . بوضع شرطة أفقية على الاشارة المسلطة على دخل البوابة . وهـــــكذا

اشـــارة الخرج = NOT A = A

ويوضح شكل ١١ — ١٥ دائرة نفى بدائيةNOT ، حيث يكافىء الجهد V_1 الاشـــارة A فى شكل ١١ — ١٦ ، ويكافىء الجهد V_0 الاشارة A .

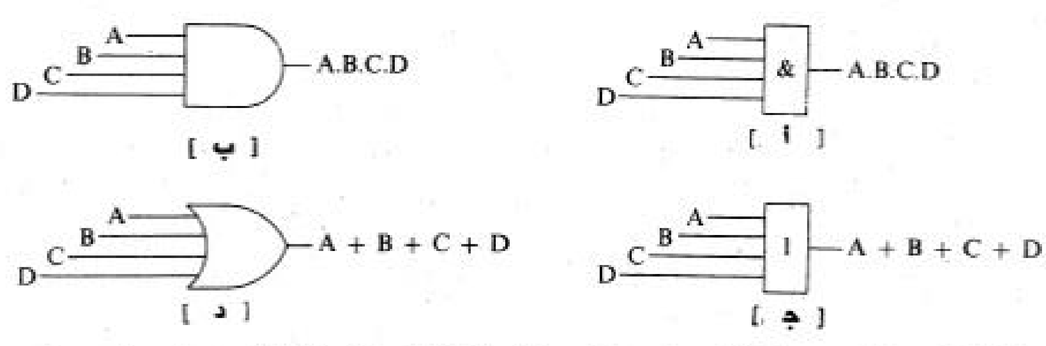


شكل ١١ — ١٦ دوائر الرموز المستخـدمةلبوابة اللاسماح NOT .

وحيث ان شكل ١١ — ١٥ يحتوى على مقاومات وترانزستور فقط ، فانها توصف ببوابة اللاسماح NOT المنطقية من الترانزستور والمقاوم RTL وتعتبر مجموعة البوابات المنطقية من الترانزستور والمقاوم هى اول الدوائر التى صنعت فى شكل دوائر متكاملة [أنظر ايضا الباب الثانى عشر] . وقد حل محل هذا النوع دوائر اخرى اكثر تعقيدا ستوصف فيما بعد فى هذا الباب .

١١ — ١٣ بـــوابة و (*AND*) وبـــوابة أو (*OR*)

تتخذ بوابة « و » (AND) اكثر من خط دخل واحد وتنتج اشارة المنطق «1» عند طرفى خرجها اذا ، واذا فقط ، كان المنطق «1» مسلطا على كل خط من خطوط الدخل فى نفس الوقت . ويشتق اسم البوابة من العبـــارة كما يلى . فلنفرض ان للبوابة اربعة خطوط دخل A و B و C و D كما هو موضح فى شكل ١١ — ١٧ [أ] ، لذا يصبح الخرج من البوابة المنطقية «1» اذا ، واذا فقط كانت جميع الخطوط A AND B AND C AND D مغذاة باشارة المنطق 1 فى نفس الوقت . فاذا سلط المنطق «O» على اى دخل منها ، فان خرج البوابة يصبح ايضا «O» .



شكل ١١ ــ ١٧ ، يبين [أ] و [ب] الرموز المستخدمة لبوابات AND ويوضح [جـ] و [د] الرموز المستخدمة لبوابات OR

وتمثل عبارة البوابة المنطقية AND بكتابة قائمة لمتغيرات الدخل ، على ان تفصل كل منهما عن الاخرى بنقطة («.») كما يلى :

الخرج من البوابة = A.B.C.D

ولبوابة OR اكثر من خط واحد للدخل ، لكنها تولد المنطق «I» عند خرجها كلما تم تسليط المنطق «I» على واحد او اكثر من خطوط دخلها . لنأخذ الان فى الاعتبار البوابة OR فى شكل ١١ ــ ١٧ [جـ] . انها بتوليد اشارة خرج بالمنطق «1» اذا سلط المنطق «1» على A OR B OR C OR D .

فاذا تم تغذية جميع خطوط الدخل باشارة المنطق «O» فى نفس الوقت ، فان خرج البوابة يصبح «O» فقط . وفى احدى الطرق المستخدمة لتمثيل عبارة OR تكتب قائمة بمتغيرات الدخل ، على ان تفصل كل منها عن الاخرى بعلامة زائد + كما يلى :

الخرج من البوابة = A + B + C + D

١١ ــ ١٤ بـــــوابتى NAND و NOR

ان سمة الاشكال العملية للبوابات الالكترونية لتتمثل فى أنها تهيىء ، بطريقة تكاد تكون ثابتة ، دالة NOT او التعاكس المنطقى فى صورة أو أخرى .

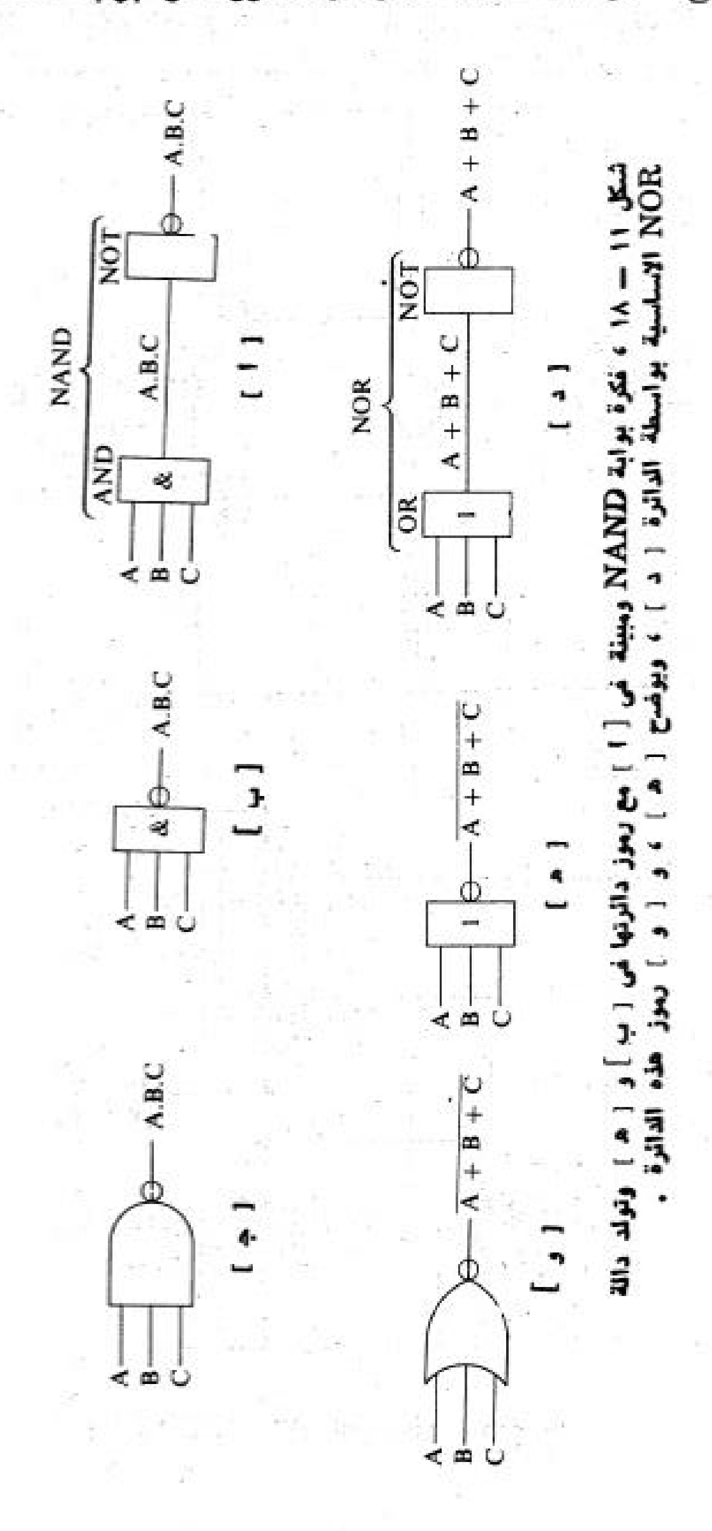
فباتحاد بوابة NOT مع بوابة AND بالطريقة الموضحة فى شكل ١١ ــ ١٨ [أ] يصبح خرج هذه المجموعة هو دالة NOT للخرج من بوابة AND . وتعرف الشبكة الناتجة ببوابة NAND : ويوضح شكلى ١١ ــ ١٨ [ب] و [جـ] الرموز التقليدية لهذه الدائرة . وحيث أن خرج هذه البوابة هو NOT (A AND B AND C) فانها تمثل بالتعبير الاتى :

الخرج من بوابة NAND = A.B.C

تتولد الدالة المنطقية المعروفة بدالة NOR باتحاد بوابة OR مع NOT بالطريقة الموضحة فى شكل ١١ — ١٨ [د] . ويصبح الخرج من البوابة هو دالة NOT للخرج من بوابة OR ، وهكذا ،

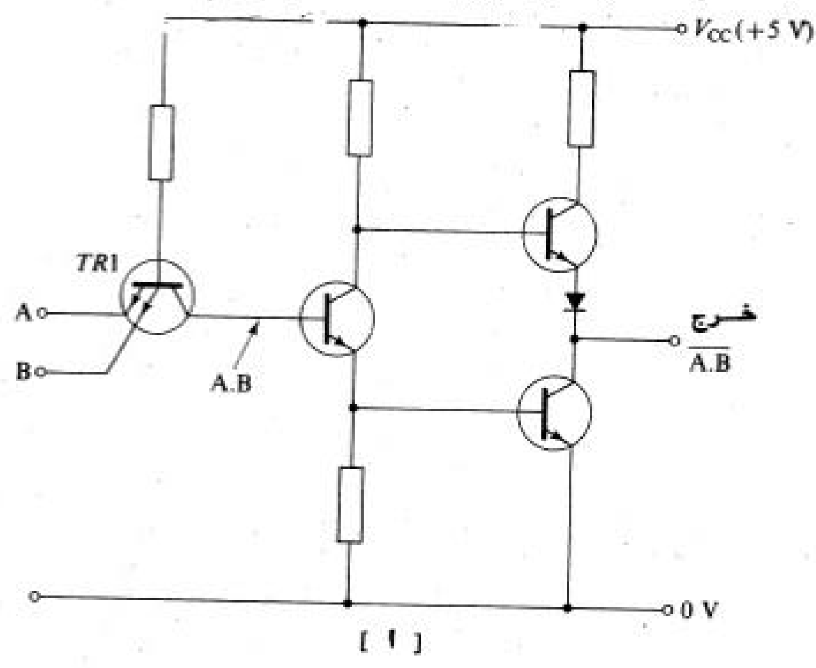
$$\text{الخرج من بوابة } NOR = \overline{A + B + C}$$

ويوضح شكلى ١١ — ٨ [هـ] و [و] رموز دائرة بوابة NOR .

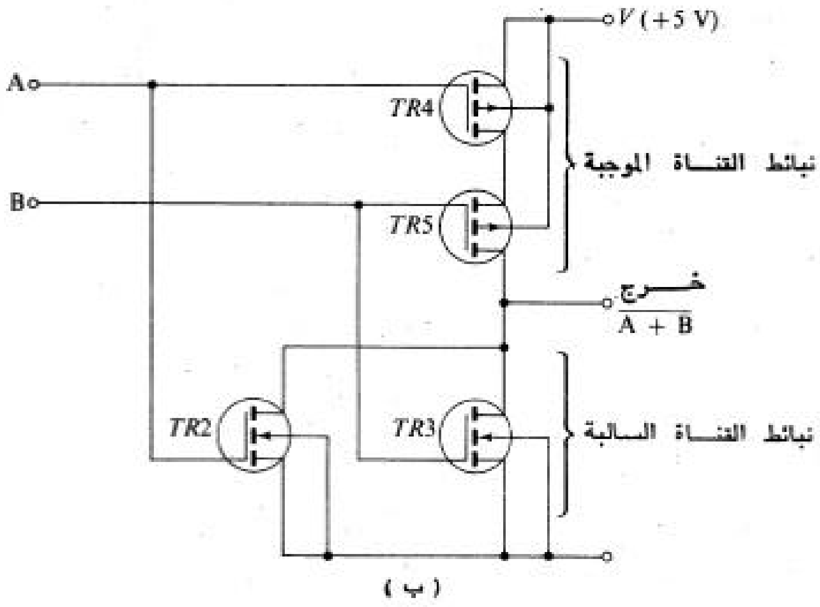


شكل ١١ — ١٨ ، فكرة بوابة NAND ومبينة فى [ا] مع رموز دائرتها فى [ب] و [جـ] وتولد دالة NOR الاساسية بواسطة الدائرة [د] ، ويوضح [هـ] ، [و] رموز هذه الدائرة .

ولكى نبين درجة تعقد دوائر المنطق الالكترونية الحديثة ، فقد اظهر الرسمين [أ] ، [ب] من شكل ١١ ـــ ١٩ توصيلات دائرتى دخل لدالتى NAND و NOR على التوالى . وتعتبر دائرة NAND بالرسم [أ] جزءا من مجموعة منطق ترانزستور ــ ترانزستور (TTL) ، والتى تستخدم بكثرة فى التجارة والصناعة والمعدات المنزلية . وتتخذ هذه المجموعة المنطقية سمة تتمثل فى تعدد الباعث للترانزستور TR1 . وتولد هذه النبطية عند مجمعها الدالة AND المنطقية لاشارات الدخل . وبقية الدائرة هى بوابة NOT عالية السرعة . وتعتبر البوابة NOT ، بالرسم [ب] ،



[أ]



(ب)

شكل ١١ ــ ١٩ [أ] ترانزستور ثنائى القطب من مجموعة منطق ترانزستور .

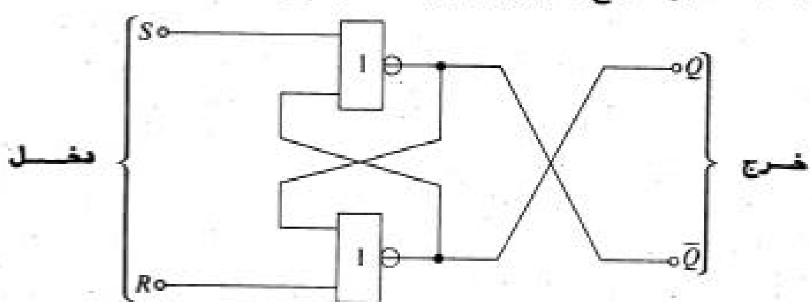
ترانزستور بوابة NAND اى TTL NAND و [ب] بوابة NOR لاشباه الاكس معدنية المتامة اى NOR CMOS .

مثالا للمجموعة المنطقية لاشباه الموصلات الاكس معدنية المتامة التى تستخدم كلا من القناتين الموجبة والسالبة لوحـــدات ترانزستور أشباه الموصلات الاكس معدنية . وتستخدم هذه البوابات بكثرة فى الحســابات الالكترونية المتنقلة .

١١ ــ ١٥ شـبكة الذاكــرة للترانزستور (نطــاط S-R)

يقال ان النبطية لها « ذاكرة » اذا احتفظت باخر امر اعطى لها . فالقاطع التلقائى على الخط مباشرة يعتبر مثالا بسيط لنبطية كهربائية لها ذاكرة . فالضغط على زر البدء تؤدى الى قفل القطع التلقائى ، فيوصل مصدر القدرة للحمل وعندئذ يتذكر القاطع التلقائى الحقيقة القائلة بان آخر أمر قد صـــدر كان « البدء » ولا يفصل مصدر القدرة عن الحمل الا عند ضغط زر «التوليف» مرة اخرى ، يتذكر القاطع آخر أمر اعطى له بالتوقف ، فلا يغذى الحمل بقدرة اخرى عند تسييب الزر .

ويمكن تكوين دائرة ذاكرة منطقية من الدوائر الاساسية بالخواص التى سبق ذكرها باستخدام وصلة صليبية من بوابتى NOR بالكيفية الموضحة فى شكل ١١ ــ ٢٠ هنا يكافىء خط الدخل S [الوضـع Q ــ للخط] زر « البدء » للقاطع التلقائى ، ويناظر خط الدخل R [اعادة الوضـع Q ــ للخط] زر « التوقف » للقاطع . وتختلف هذه الدائرة عن القاطع التلقائى فى ان لها خطى خرج متوفرين من الذاكرة] .



شكل ١١ ــ ٢٠ دائرة ذاكرة اساسية S-R او نطاط ثنائى الاستقرار

وهما بالرسم الخرج المعتاد او الخرجQ والخرج Q(NOT Q) وهو المتمم المنطقى لاشارة الخرج Q . وبذلك يصبح Q = I عنـــدما تكون Q = O والعكس بالعكس .

ويمكن شرح عمل الدائرة باختصار كما يلى : اذا تم تسليط اشارة منطق «1» على الخط S [عند هذه اللحظة R = O] ، فان خرج الخط Q

يحول الى «1» او يوضع عند مستوى المنطق «1» . ويستمر الاحتفاظ بهذه الحالة بعد ان تستنزل الاشارة المسلطة على الخط -S الى الصفر . وتحول اشارة خرج الخط Q او تعاد الى المنطق «O» بتسليط اشـــارة منطقية 1 على الخط ـــ R [عند هذه اللحظة S = O] .

ويشار الى الدوائر بالخواص السابقة بدوائر النطاط ، لان تسليط اشارة تحكم واحدة تؤدى الى « قفز » الخرج من حالة الى اخرى ، ويؤدى تسليط اشارة التحكم الثانية الى قفزة اخرى مرتدة للوضع الاصلى .

ويمكن بالمثل تركيب النطاطات من النوع الذى سبق وصفه من بوابات NAND

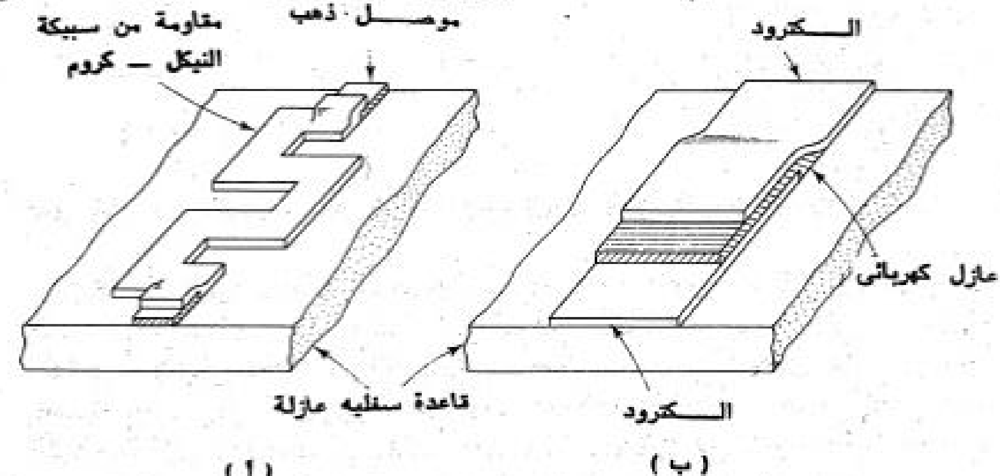
الفصـــل الثـانى عشر

الألكترونيات الدقيقة والدوائر التكاملية

ادى التقدم فى تصغير الدوائر الى تحسينات فى محول المعدات مع خفض فى التكاليف ، والدوائر الدقيقة ، ببساطة ، هى تجميع مصغر جدا للمكونات الالكترونية ، علما بأن اكثر نوعين شـــائعين يعرفان بالدوائر الغشائية (film) والدوائر التكاملية ذوات القطعة الواحدة . ويرجع الى النوع الاخير ببساطة كدوائر تكاملية (ICs) .

١٢ ــ ١ الدوائـــر الغشـــائية

تصنع الدائرة الغشائية بترسيب اغشية من المواد الموصلة على سطح عازل او طبقة سفلية . ولقد ورد ذكر الدوائر الغشائية لاول مرة فى الفصل الثانى فيما يتعلق بالمقاومات الثابتة . وتصنف الدوائر الغشائية اما الى غشاء سميك او غشاء رقيق تبعا لتكتيك الصناعة المتبع . وفى أى من الحالتين فالغشاء رقيق طبقا لاى من المواصفات المعتادة ويوضح شـــكل ١٢ ــ ١ [أ] تركيب دائرة مقاومة غشائية . وقد تكون هذه المقاومة واحدة من عدة مقاومات يمكن ان ترسب على قاعدة سفلية بمقاس واحد سنتيمتر مربع او اقل . ومن سمات هذا النوع من المقاومات امكانية تقليمها ميكانيكيا خلال مرحلة التصنيع لتهيئة قيم دقيقة للمقاومات . ويوضح شكل ١٢ ــ ١ [ب] النموذج الذى يمكن تصنيعه لمكثف ذى قيمة منخفضة . وتضع ملفات المحاثة ذات القيم المنخفضـــة بترسيب مســـار حـلزونى مســطح



شكل ١٢ ــ ١ مكونات الدائرة الغشائية [أ] مقاوم و [ب] مكثف

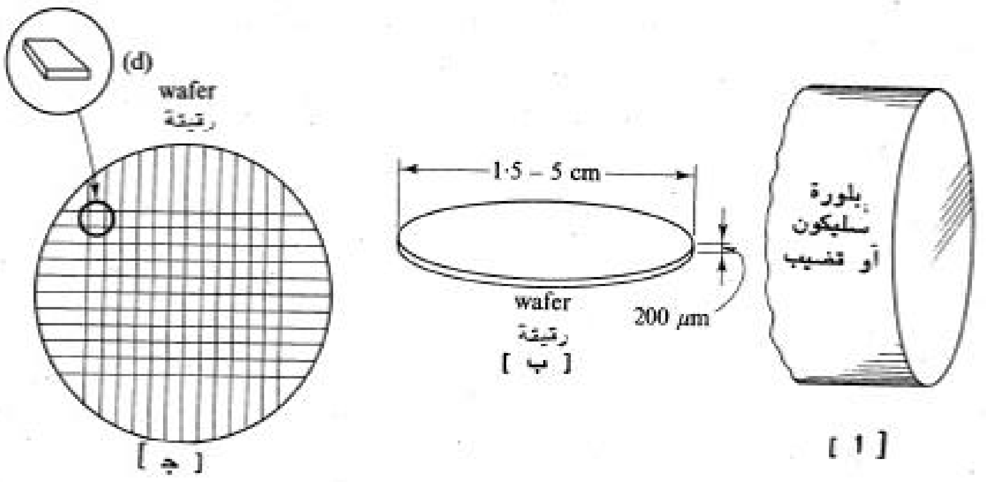
من مــادة موصـــلة فــوق ســطح القـــاعدة السفلية [وعمــوما ، عندما تدعو الحاجة لمكثفات او سلفات بقيم عادية فمن الافضل التوصل اليها باستخدام المكونات القياسية التى توصل خارجيا للدائرة الغشائية .

ومن الممكن تصنيع وحدات على شاكلة ترانزستور التاثير ــ المجالى فى شكل غشائى .

١٢ ــ ٢ الدوائــر التكامليــة ذات القطعــة الواحــدة

تصنع جميع الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة من مادة السليكون حيث ان خواصها تعتبر افضل ما يتلاءم مع عمليات تصنيع الدوائر التكاملية. وتعنى عبارة « قطعة واحدة ببساطة ان الدائرة التكاملية مصنوعة من بلورة واحدة . سيوضح فيما يلى عملية الانتاج الاساسية .

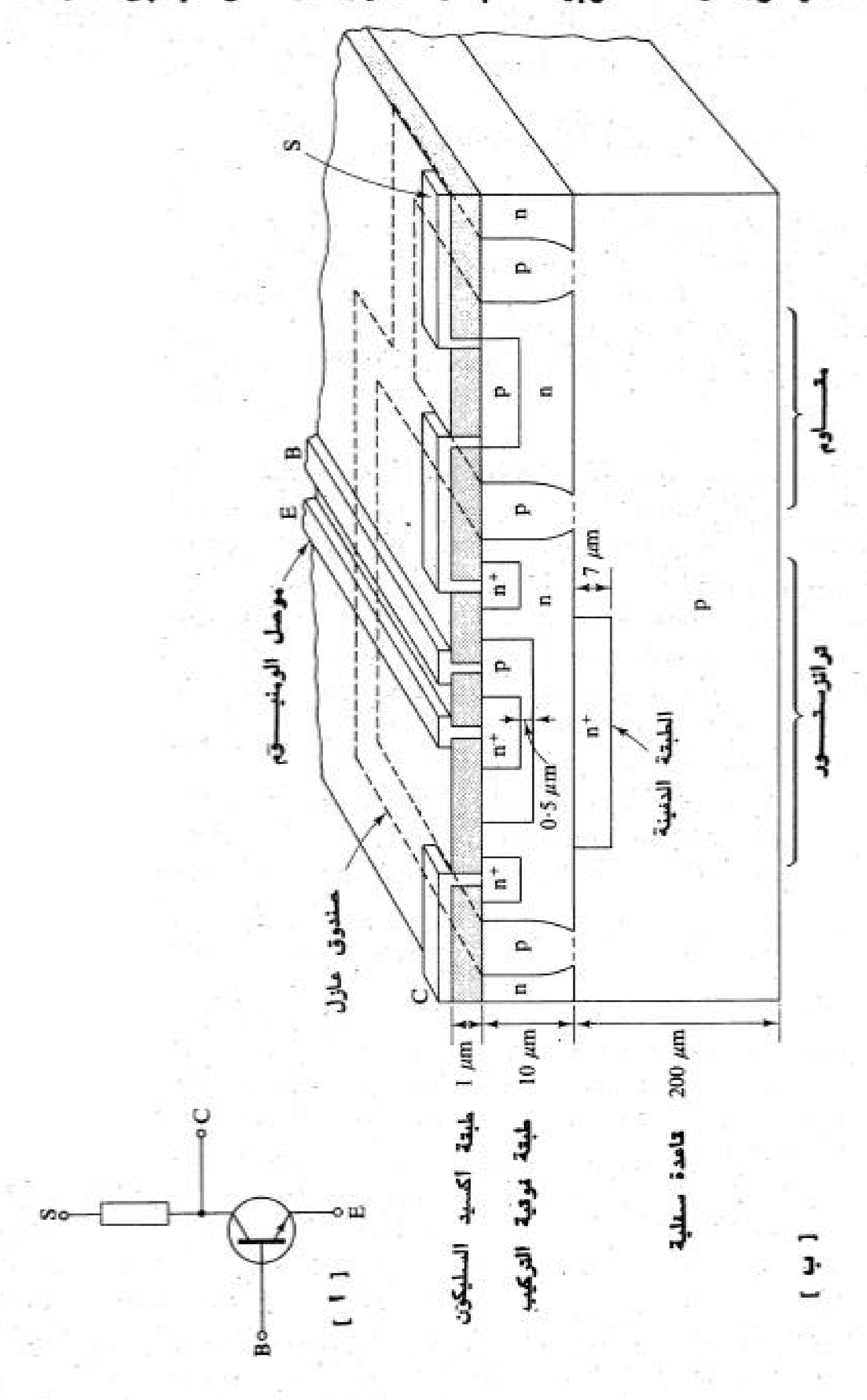
اولا ، تختزل السليكا [الرمل بصفة عامة] الى سليكون نقي ، ومنها تنمو بلورة اسطوانية لها الابعـــاد النمطية التالية ، الطول 30 cm (12.25 in) والقطر يمكن أن يصل الى 5 cm (2 in) . تقطع بعد ذلك اسطوانة السليكون بواسطة منشار ماس [المستخدم لقطع الزجاج] لتعطى عددا كبيرا من الرقائق الاسطوانية ، والتى يصبح سمكها بعد الصقل حوالى 200 μm (0.008 in) ويوضح شكل ١٢ ــ ٢ [أ] و [ب] هذه العملية .



شكل ١٢ ــ ٢ العمليات المتضمنة فى تصنيع الدوائر التكاملية ذات القاعدة الواحدة .

وبعد ان تكون رقيقة السليكون قد تعرضت لعدة عمليات ستوضح فيما يلى ، فانها تحوى عددا كبيرا من الدوائر المنفردة . ومن الممكن أن يصبح المقاس الطبيعى لهذه الدوائر صغيرا جدا ، حيث يبلغ طول ضلع مربعات بعضها جزءا من المليميتر . ولفصل الدوائر المنفردة ، تقسم الشريحــة [الرقيقة] الى شريحات او رقيقات بواسطة عملية تماثل عملية قطع الزجاج. ويوضح الرسمان [جـ] و [د] من شكل ١٢ ــ ٢ هذه العملية .

تربط الشريحة بعدئذ الى ركوبتها ؛ وبعد اتمام التوصيلات بين الدائرة التكاملية والاطراف الخارجية ، تكبسل لحمايتها من التلوث بالجو المحيط .



شكل ١٢ — ٢ تصنيع دائرة تكاملية تقليدية من القطعة الواحدة

يعرف طراز الدائرة التكاملية التى تنتج بالطريقة السابقة على انهـا الدائرة التكاملية الفوقية الترتيب المنبسطة [الفوقية الترتيب ترجمة لكلمة epitaxial الانجليزية والمشتقة من اللغة اليونانية ، والفوقية الترتيب المنبسطة تملى ان الدائرة التكاملية قد رتبت فوق سطح منبسط] .

١٢ ــ ٣ صـنع الدائرة المتكـاملة ثنـائية القطب

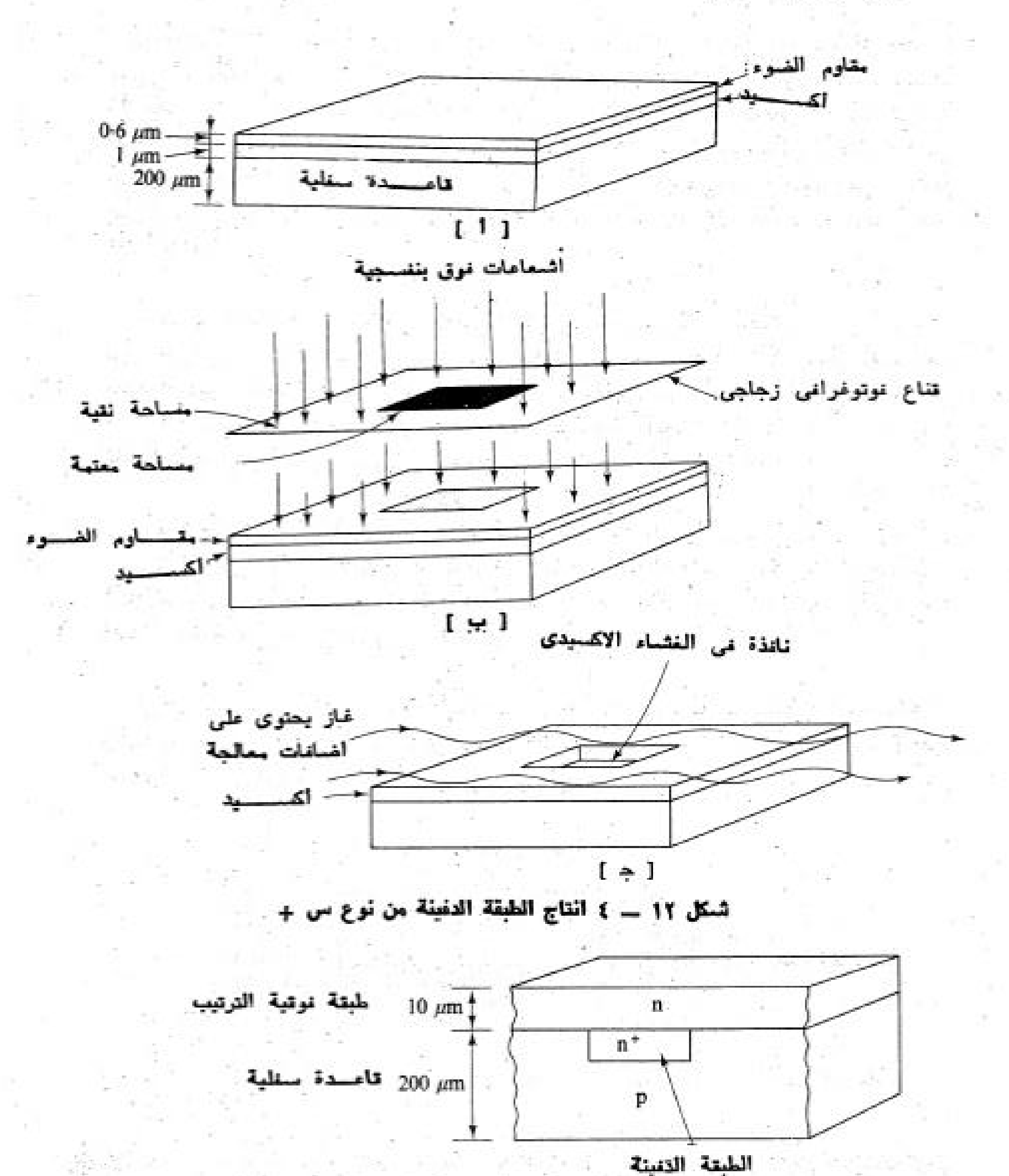
سنأخذ فى الاعتبار الان كيف يمكن تركيب الدائرة المبينة فى شكل ١٢ ــ ٣ [ا] على صورة دائرة تكاملية ، اذ يمكن ان تصبح الشبكة المبينة جزءا من مكبر خطى او جزءا من دائرة مفتاح . وتظهر الدائرة التكاملية بعد تكملتها ، كما هو موضح فى شكل ١٢ ــ ٣ [ب] وبمقاس اجمالى للترانزستور يبلغ فى العادة 100 μm (0.004 in). وستلخص الخطوات المنطوية عليها هذه العملية كما يلى :

طبقـة س+ n^+ الدفينة : تستخدم شريحة السليكون او الرقيقة المصنعة فى العملية الابتدائية كقاعدة سفلية ليركب عليها الدائرة كلها . ومن الممكن ان تؤدى المقاومة النوعية ، لمادة القاعدة السفلية، ذات القيمة المرتفعة حقا، الى عدم ملائمة الترانزستور المصنع فوقها للعمل كنبطية قطع وتوصيل ، [مفتاح] وللتغلب على هذه الظاهرة ، تستشر طبقة دفينة من مادة شبه موصلة نوع س + ذات موصلية مرتفعة فى القاعدة السفلية عند نقطـة على الشريحة تقع اسفل مكان الترانزستور الاخير مباشرة . والمـادة التى من النوع س + هى احدى المواد التى تزيد قيمة موصليتها عن موصلية المادة التقليدية من النوع س . سيوضح فيما يلى عملية الانتشـار تحت عنوانين هما الانبات الاكسيدى والقناع الضوئى والانتشار ، وهو يماثل بصفة عامة عملية الانتشار المستخدمة فى تركيب باقى الدائرة وسبب تسمية الطبقة الدفينة بهذا الاسم هو انها تدفن اسفل سطح الدائرة .

النمو الاكسيدى والقناع الضوئى :

يؤكسد السطح العلوى للطبقة السفلية بأمرار بخار عليها بعد نظافتها وفحصها ، ويبلغ سمك طبقة الاكسيد الناتجة بواسطة هذه العملية حوالى 1 μm يغطى السطح العلوى من الاكسيد بعدئذ بمادة حساسة للضوء تعرف بمقاوم الضوء ، كما هو موضح فى شكل ١٢ ــ ٤ [ا] . يتم تعريض مقاوم الضوء للاشعة فوق البنفسجية خلال قناع فوتوغرافى [انظر شكل ١٢ ــ ٤ [ب] ، ثم تتصلد مساحات مقـاوم الضـوء التى كانت معرضة للضوء . اما المساحات التى كانت غير معرضة للضوء والمغطاة بالمساحات المعتمة من القناع فهى لينة وتذاب بواسطة مادة مذيبة ، مع ترك فتحة فى مقاوم الضوء تتمشى الشريحة فى الحامض لازالة المساحة التى تعرضت للضوء من الغشاء الاكسيدى مع ترك « نافذة » تنفذ الى السطح العلوى من القاعدة السفلية . يزال بعد ذلك الجزء الباقى من مقاوم الضـوء بواسطة مادة مذيبة اخرى ، ثم تشطف وتنشف .

الانتشار : تمرر الشريحة فى المرحلة التالية خلال فرن انتشار ، حيث تسخن الى درجة حرارة تبلغ حوالى 1200°C ، ويمرر عليها غازات تحتوى على اضافات معالجة مناسبة [أنظر شكل ١٢ ــ ٤ [جـ]] تــؤدى الاضافات المعالجة فى الغاز الى تحول المساحة المكشــــوفة من القاعدة السفلية النوع ــ م الى مادة من النوع س + . وفى النهاية ، تغـور الطبقة الدفينة المستنشرة خلال النافذة فى طبقة الاكسيد بهذه الكيفية الى عمق حوالى 7 µm .



شكل ١٢ ــ ٤ انتاج الطبقة الدفينة من نوع س +

شكل ١٢ ــ ٥ مقطع خلال الشريحة الرقيقة بعد تكوين الطبقة فوقية الترتيب .

ثم تنمش طبقة الاكسيد بعيدا لترك القاعدة السفلية من النوع — م مع الطبقة الدفينة نوع س + على سطحها .

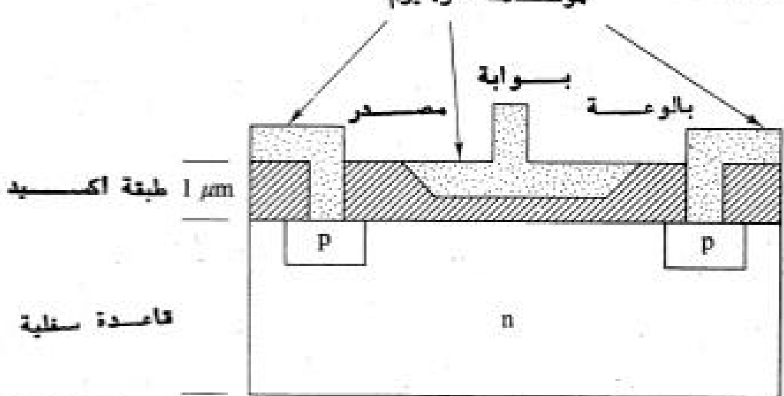
الطبقة فوقية التركيب : بعد ذلك ، تسخن الشريحة الرقيقة مرة اخرى فى فرن وتعرض للغاز الذى يؤدى الى نمو طبقة فوقية الترتيب من النوع س بانتظام فوق كل السطح [أنظر شكل ١٢ — ٥] . وان لفى هذه الطبقة فوقية الترتيب بسمك 10 µm ، قد شكلت الدائرة التكاملية كلها .

مكونات الدائرة : لكى نعزل المكونات داخل الدائرة عن بعضها البعض ، يصبح من اللازم بعدئذ تكوين خنادق عازلة حول المساحات التى تشكل عندها المكونات . وتستنشر الخنادق العازلة من النوع — م داخل الطبقة فوقية الترتيب بواسطة عملية من التقنع والتنمش والاستنشار تماثل العملية التى سبق وصفها [انظر شكل ١٢ — ٣ [ب] . ويهيىء الخندق وصلة ربط بين سطح الدائرة التكاملية والقاعدة السفلية ، ويعزل كهربائيا المساحات التى يحيط بها .

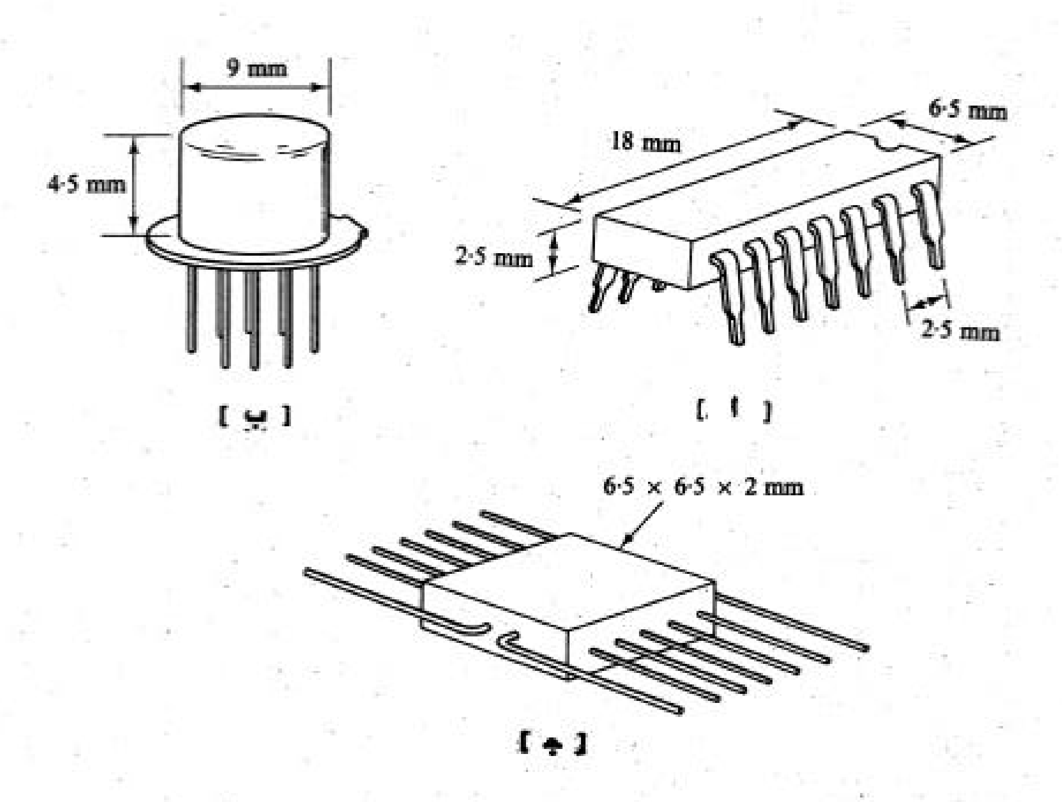
بعد ئذ ، تقطع نوافذ فى طبقة الاكسيد لتسمح ببدء استنشار القاعدة من النوع — م وكذلك المقاوم . وبعد ذلك ، تسمح عملية الانتشار التالية ببدء التهيئة لباعث الترانزستور وكذلك المنطقتين س + فى المجمع . وتدعو الحاجة لهاتين حتى [أ] تسمحا بعمل توصيلة لمنطقة المجمع نفسها [ب] تمكنا المجمع والمقاوم من أن يتصلا مع بعضهما البعض .

انهاء الدائرة التكاملية : يتم تبخير طبقة من الالومنيوم بسمك حوالى 1·5 µm على السطح الكلى للدائرة ، وتزال المناطق الغير مطلوبة للتوصيلات الكهربائية بعملية النمش. وتنفذ التوصيلات بين الالومنيوم المستجد والاطراف الخارجية للدائرة المتكاملة .

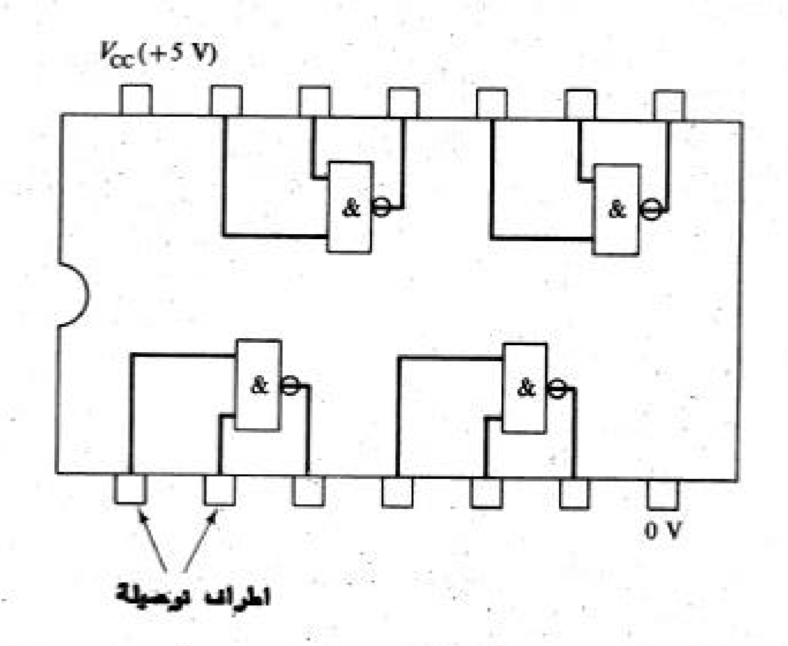
ومن الجدير بالذكر ، أن ما سبق هو وصف مبسط للعمليات المتضمنة ، وكما سيتفق معنا القارىء فان رسم المقطع فى شكل ١٢ — ٣ [ب] هو صورة اخرى مبسطة



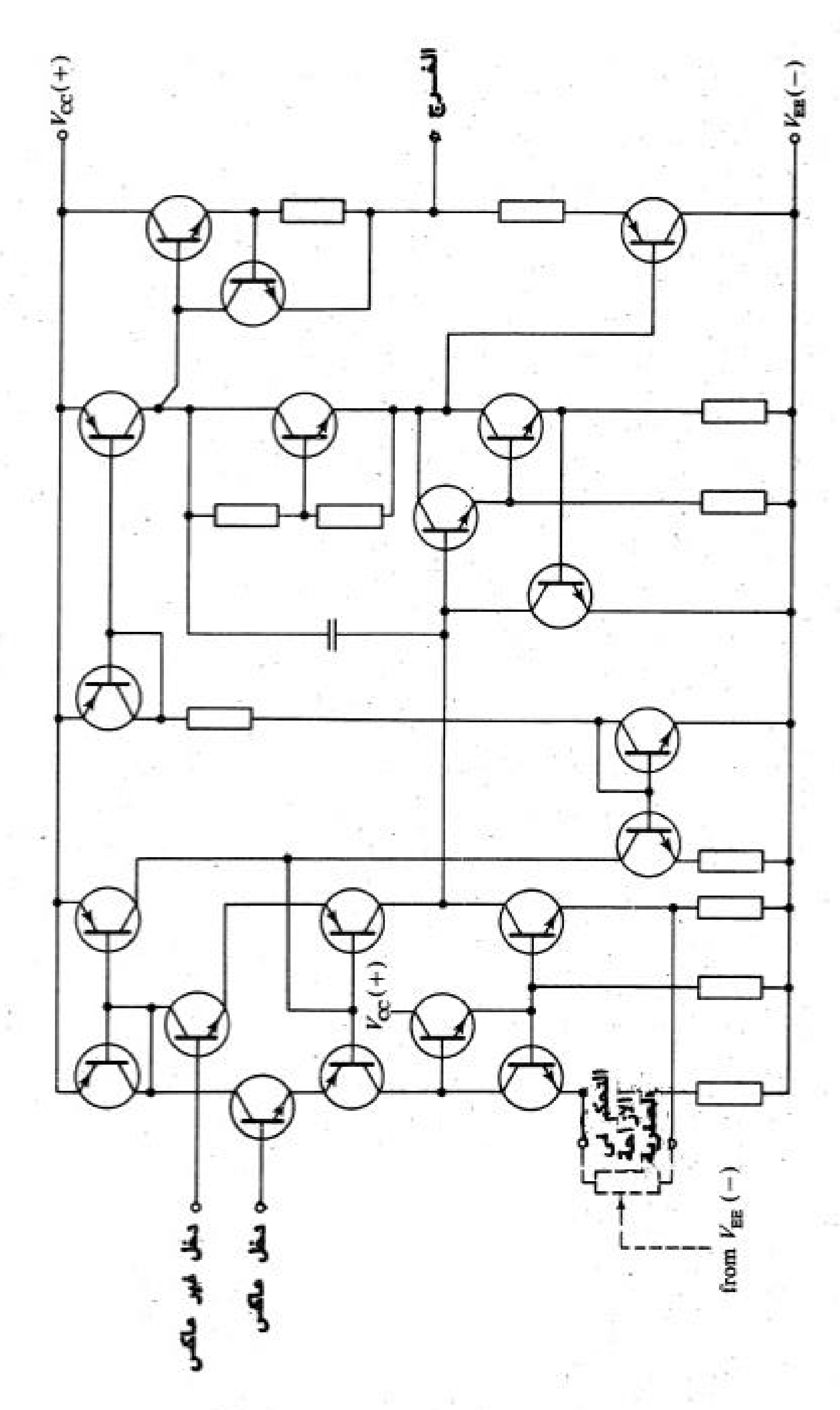
شكل ١٢ — ٦ ترانزستور التاثير المجالى من اشباه الموصلات الاكس معدنية (MOSFET) ذو القناة — الموجبة .



شكل ١٢ ــ ٧ كبسولات دوائر تكاملية



شكل ١٢ ــ ٨ كبســولة دائرة NAND التكاملية بها أربعة وحدات لكل منها دخلين .



شكل ١٢ — ٩ دائرة المكبر التشغيلى طراز 741

وتتضمن عملية تصنيع الدائرة المتكاملة ثنائية القطب فى مجموعها حوالى من 80 الى 100 عملية منفصلة ، ويحتاج بعضها الى بضعة ساعات لتكملتها ويحتاج البعض الاخر الى بضعة أسابيع .

١٢ — ٤ تصنيع الدوائر التكاملية من اشباه المواصلات الاكسى معدنية MOS

يوضح شكل ١٢ — ٦ مقطعا فى ترانزستور التاثير المجالى من اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOSFET) ذات القناة الموجبة والمصنع فى شكل دائرة تكاملية ، حيث يظهر السمات الاساسية للنبطية عند المقارنة مع الدائرة التكاملية الثنائية القطبا المبينة فى شكل ١٢ — ٣ ، يصبح واضحا ان نبطية اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOS) اسهل فى الانشاء وتحتاج علاوة على ذلك الى مساحة مسطح اقل على الشريحة الرقيقة لشبه الموصل بالنسبة للترانزستور ثنائى القطب . وبالتالى ، يصبح ممكنا باستعمال عناصر اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOS) اما الى انتاج دوائر اكثر تركيبا على الشريحة الرقيقة المعطاة ، او الى انتاج نفس الدائرة بتكاليف اقل عما هو الحال مع العناصر ثنائية القطب . وهكذا ، تنفذ الدوائر المنطقية غالبا فى معظم الالات الحاسبة الالكترونية بواسطة نبائط من اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOS) فى شكل دوائر تكاملية .

١٢ — ٥ تجميع الدائرة المتكاملة

يوضح شكل [١٢ — ٧] ثلاثة من الاشكال شيوعا لتجميع [او تغليف] الدوائر التكاملية . هذا وان اكثر الاشكال شيوعا هى المجموعة بكبسولة البلاستيك ثنائية الخطوط ذات الاربعة عشر طرفا (DIL) والمبينة فى الاشكال ١٢ — ٧ [أ] .

وللمجموعة ثنائية الخطوط ذات الاربعة عشر طرفا ، سبعة اطراف توصيل على كل جانب على ان يمتد كل زوج مقابل من كلا الجانبين على استقامة واحدة ، وان تكون المسافة بين كل طرفين (2.5 mm (0.1 in لكى تسمح بتركيب الدائرة التكاملية مباشرة فى اللوحات القياسية للدائرة المطبوعة ويحتوى نموذج العلبة الصغيرة [علبة معدنية] فى شكل [١٢ — ٧ [ب]] الدائرة المتكاملة فى علبة معدنية محكمة السد . وغالبا ما يكون نموذج المجموعة المسطحة [شكل ١٢ — ٧ [جـ]] من تركيب خزفى ويحكم اغلاقه بالمثل .

هذا وتتباين الى حد بعيد درجة التعقيد للدائرة المحتواة فى مجموعة الدائرة المتكاملة . وربما تكون اكثر الدوائر المتكاملة المنطقية استعمالا فى كل مكان هى 7400 N [او (FJH 131) باربعة وحدات ولكل وحده طرفى دخل وبوابة ترانزستور — ترانزستور — منطقى TTLNAND وتتواجد فى شكل مجموعة ثنائية الخطوط باربعة عشر طرفا كما هو موضح فى شكل ١٢ — ٨ .

ويوضح شكل ١٢ — ٩ دائرة المكبر التشغيلى 741 الذى يعتبر اكثر نماذج الدوائر التكاملية الخطية شيوعا . ومع أن الدائرة معقدة جدا ، الا

ان الحاجة تدعو لعمل سبعة توصيلات خارجية للمكبرنقط . وستناقش تطبيقات هذا النوع من المكبرات فى الفصل الرابع عشر . نحتاج الى مفرق الازاحة الصفرية ، الذى يوصل خارجيا بالدائرة فى الحالات التى ينحرف فيها خرج الجهد فيلزم ارجاعه الى الصفر باليد .

١٢ ـ ٦ دوائر المقياس المتوسط المتكاملة والمقياس المكبر للدائرة التكاملية

تستخدم عادة عبارة دائرة المقياس المتوسط المتكاملة (MSI) وعبارة المقياس المكبر للدائرة التكاملية (LSI) عند وصف انواع معينة من الدوائر المنطقية المعقدة . وتشير هذه العبارات الى عدد البوابات المنطقية الكاملة فى دائرة تكاملية واحدة بالمجموعة ولو ان هذا التعريف ليس دقيقا للغاية ، انما يمكن توضيحه كالاتى :

[أ] تحتوى دوائر المقياس المتوسط المتكاملة (MSI) ما بين حوالى 10 الى 100 بوابة .

[ب] تحتوى دوائر المقياس المكبر المتكاملة (LSI) على اكثر من حوالى 100 بوابة

وتستخدم الدوائر المتكاملة فى الحسابات الالكترونية شريحات المقياس المكبر للدائرة التكاملية .

الفصـــل الثـالث عشر

مكـبرات التغذية المرتدة والمذبـات

١٣ ــ ١ التغذية المرتدة السالبة والموجبة

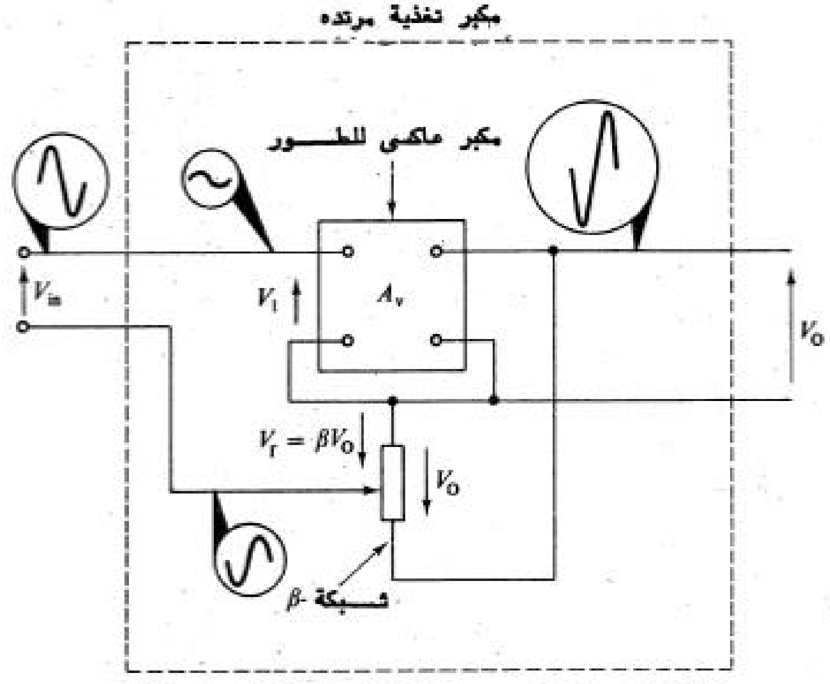
مكبر التغذية المرتدة هو المكبر الذى يرتد الى دخله جزء من اشـــارة الخرج أو كلها فى بعض الاحيان وتضم هذه الاشارة الى اشـــارة الدخل لتعطى اشارة مركبة ، لتسلط بعدئذ الى المكبر . والنتيجة النهائية لتسليط هذه التغذية المرتدة هو تغير اداء ، حيث يعتمد نوع وكمية التغير على عـــدة عوامل تشمل كيفية التحصل على اشارة التغذية المرتدة ، والطريقة التى ترتد بها هذ الاشارة ، والنهج المستخدم لدفع الاشارة الى المكبر .

وبصفة اجمالية يمكن تقسيم دوائر التغـــذية المرتدة الى نوعين ، هما مكبرات التغذية المرتدة السالبة ومكبرات التغذية الموجبة . ومع مكبرات التغذية المرتدة السالبة ، يضاد طور اشارة التغذية المرتدة [اى أن لها قطبية مضادة] طور اشارة الدخل ولذلك تنتقص اشارة الدخل الخالصة المسلطة على المكبر . وبصفة عامة ، يصبح تأثير التغذية السالبة المرتدة اقلالا لكسب الجهد الظاهرى للمكبر ويعرف هذا باسم **التغذية الخلفية المضعفة** ، حيث لهذا النوع من التغذية المرتدة تأثيرات مفيدة كثيرة ، سنتعرض لكثير منهـا خلال هذا الفصل . اما مع مكبرات التغذية المرتدة الموجبة ، فان طـــور اشارة التغذية المرتدة يتفق مع طور اشارة الدخل ولذلك تزيد اشارة الدخل الخالصة المسلطة على المكبر . وينتج عن ذلك ، ان يزداد كسب الجهد الظاهرى للمكبر ، ويعرف هذا باسم **التغذية الخلفية المقوية** . وآثار التغذية المرتدة الموجبة هى بصفة عامة ، عكس تأثيرات التغذية السالبة المرتدة ولها، على وجه العموم ، تأثير غير موازن [غير مستقر] على الدائرة . وتستخدم التغذية المرتدة الموجبة فى صور متعددة للمذبذبات سيوضح بعض منهـا فى هذا الفصل .

١٣ ــ ٢ أساس عمل مكبرات التغذية المرتدة السالبة

يوضح شكل [١٣ ــ ١] فكرة عمل اشكال كثيرة لمكبرات التغذية المرتدة السالبة . ففى هذه الدائرة ، توصل اشارة التغذية المرتدة V_f على التوالى مع اشارة الدخل V_{in} ، وكنتيجة لذلك ، يعرف هذا النوع من الــدوائر **بمكبر جهد التغذية المرتدة السالبة على التوالى** .

ويتكون مكبر التغــذية المرتدة ، وهو المحــاط بالمستطيل ذى الخطوط المتقطعة ، شكل ١٣ — ١ ، من مكبر عاكس للطور مع شبكة تغذية مرتدة .



شكل ١٣ — ١ مكبر جهد التغذية المرتدة السالبة على التوالى .

تسمى شبكة B . ففى الحالة المبينة ، تعتبر الشبكة B ببساطة مجزىء للجهد . وللتميز بين المكبر العاكسى للطور Av ، ومكبر التغذية المرتدة بأكمله ، يرجع على وجه التحديد أما الى المكبر [ونعنى المكبر العــاكسى للطور الذى هو مجرد جزء من الدائرة الكاملة] أو الى مكبر التغذية المرتدة [ونعنى به الدائرة الكاملة فى شكل ١٣ — ١ . وتوضح العلاقات بين أطوار الاشكال الموجبة عند نقط مختلفة فى الدائرة بواسطة الرسوم التخطيطية للاشكال الموجبة فى الشكل . وبما أن المكبر عاكسى للطور ، لذا يتضاد طور V_f مع طور V_{in} وتكون قيمة الاشارة V_1 المسلطة بالفعل على المكبر A ذات قيمة صغيرة ويتفق طورها مع طور اشارة الدخل V_{in} .

ولنأخذ فى الاعتبار الان عمل هذه الدائرة . بفرض ان كسب الجهد المكبر العاكسى للطور هو 100- [الاشارة السالبة تملى عكسا للطور] وان قيمة الجهد المسلط على طرفى المكبر تساوى 1 mV . ففى هذه الحالة ، تصبح قيمة جهد الخرج V_O عبارة عن $1\ V - = 0.001 \times 1000 -$. مرة اخرى نقرر أن وجود الاشارة الســـالبة انما يملى ان طور جهد الخرج يعاكس طور الجهد V_1 . وبفرض أن شبكة ــ تغذى خلفيا 0.9 فى المائة $(\beta = 0{\cdot}009)$ من اشارة الخرج الى الدخل .

بمعنى أن $V_f = \beta V_O = 0{\cdot}009 \times (-1) = -0{\cdot}009\ \mathrm{V\ or}\ -9\ \mathrm{mV}$.

ومن شكل [١٣ — ١] ، نرى أن $V_1 = V_{in} + V_f$

أو $V_{in} = V_1 - V_f = 1 - (-9)\ \mathrm{mV} = 10\ \mathrm{mV}$

اى ان ، قيمة الجهد المسلط V_{in} على طرفى مكبر التغذية المرتدة اللازمة لاعطاء خرج قيمته 1000 m V تبلغ 10 m V وهكذا يصبح كسب الجهد الكلى Avf لمكبر التغذية المرتدة عبارة عن

$$A_{vf} = \frac{V_O}{V_{in}} = \frac{-1000}{10} = -100$$

وفى الحالة السابقة ،يصبح كسب المكبر A ، يعادل 1000— ، بينما قيمة كسب الجهد لمكبر التغذية الخلفية هى مجرد 100—! . وهكذا ، يصبح احد تاثيرات هذا الاسلوب من التغذية المرتدة هو انقاص قيمة كسب الجهد لمكبر التغذية المرتدة الى قيمة اقل من كسب المكبر المستخدم فى الدائرة . ويعتبر هذا ضمن الجوانب المعيبة للتغذية المرتدة السالبة ، مع العلم ان لهذا النوع مميزات اكثر ، كما سنرى فيما بعد .

ويمكن حساب قيمة كسب الجهد A_{vf} لمكبر التغذية المرتدة باستخدام المعادلة الاتية :

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 - A_v\beta}$$

حيث A_v هو كسب الجهد للمكبر A. و β هى جزء من اشارة الخرج المرتدة خلفيا الى الدخل . وبالتعويض بالارقام السابقة

$$A_{vf} = \frac{-1000}{1 - (-1000 \times 0{\cdot}009)} = \frac{-1000}{1 + 9} = -100$$

ولنفترض ان قيمة الكسب A_v للمكبر قد هبطت الى ما قيمته 800 ، نتيجة لبعض العوامل مثل قدم المكونات وتغيرات جهد المصدر و . . . الخ . فاذا استخدم المكبر بدون تغذية مرتدة ، فانه ينتج عن الهبوط فى الكسب انخفاضا فى جهد الخرج يصل الى 20% .

واذا استخدم المكبر بنفس كمية التغــذية المرتدة فى الحــالة السابقة $(\beta = 0{\cdot}009)$ فان كسب الجهد الاجمالى لمكبر التغذية المرتدة ينقص الى

$$A_{vf} = \frac{-800}{1 - (-800 \times 0{\cdot}009)} = \frac{-800}{1 + 7{\cdot}2} = -97{\cdot}56$$

اى ان كسب الجهد الاجمالى للمكبر يهبط بمقدار 2.4% فقط عندما يهبط كسب المكبر الداخلى بمقدار 20% . اى ان هذا النوع من التغذية المرتدة يؤدى الى تحسين استقرار كسب الجهد لمكبر التغذية المرتدة بالمقــارنة مع كسب الجهد المكبر المستخدم فى الدائرة . والسؤال الان يدور حول كيفية تقدير هذا التحسن الملحوظ فى الاداء . فبكل بساطة يقوم مكبر التغذية المرتدة بضبط مستويات الجهد فى الداخل بطريقة تلقائية ليعوض الانخفاض فى كسب المكبر . ولناخذ فى الاعتبار كيفيحدث هذا فى الحالة السابقة . بفرض ان قيمة الاشــارة V_{in} قد ثبتت عند 10 mV ، فان الحسابات السابقة توضح ان قيمة جهد الخرج الجديد ستكون 975.6 mV — ، مما يعطى

قيمة جديدة لجهد التغذية المرتدة تبلغ $0.009 \times (-975.6)\ mV = -8.78\ mV$

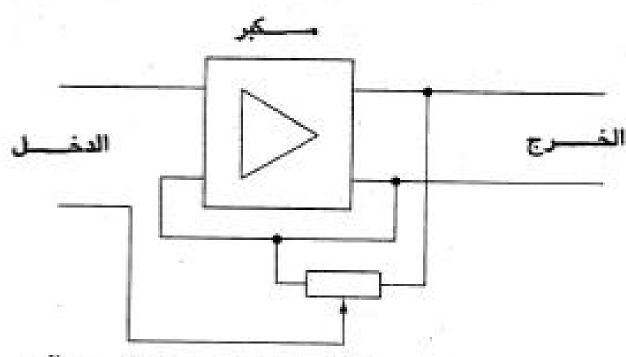
ومن الاشكال السابقة ، نرى أن قيمة V_1 المسلطة الان على المكبر هى

$$V_1 = V_{in} + V_f = 10 + (-8.78) = 1.22\ mV$$

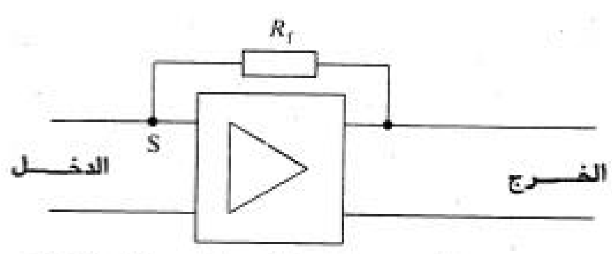
وعند هذه النقطة نرى أن قيمة V_1 قد زادت من القيمة الاصلية وهى 1 mV [عندما كان كسب المكبر يعادل 1000 —] الى قيمة تعادل 1.22 mV ، عندما هبط الكسب الى 800— . وهكذا تصبح القيمة الجديدة لخرج الجهد من المـــكبر

$$-800 \times 1.22\ mV = -976\ mV$$

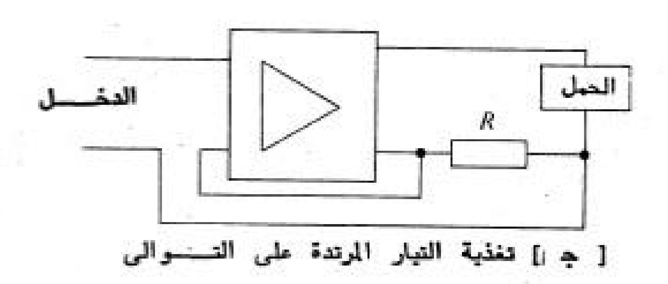
وتوضح الحسابات السابقة كيف يحافظ مثل هذا النوع من التغذية المرتدة .



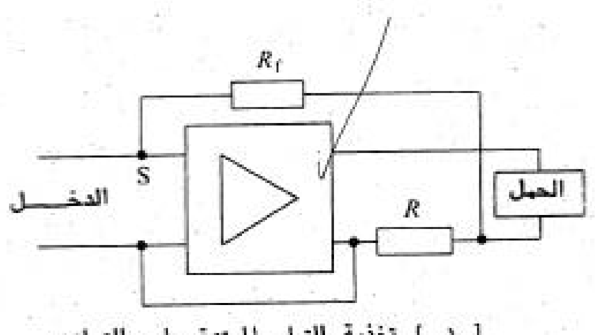
[أ] التغذية المرتدة لفرق الجهد على التوالى



[ب] التغذية المرتدة لفرق الجهد على التوازى



[ج] تغذية التيار المرتدة على التــوالى



[د] تغذية التيار المرتدة على التوازى

شكل ١٣ ـــ ٢ الاشكال التخطيطية للانواع الاساسية من مكبرات التغذية المرتدة

على ثبات كسب مكبر التغذية المرتدة بالتقريب ، بالرغم من امكانية تغير كسب المكبر المستخدم فى الدائرة عبر مدى واسع من القيم .

١٣ ـــ ٢ الانواع الاساسية لمكبر التغذية المرتـــدة

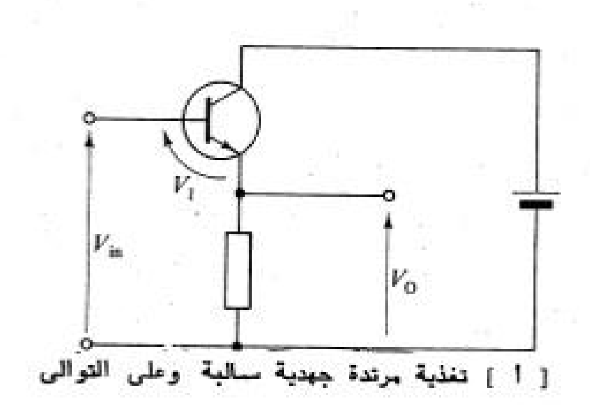
كما اشرنا سابقا ، يمكن تسليط التغذية المرتدة ، بعدة طرق ، وللمساعدة على تفهم اساسيات هذا المضمون ، يوضح شكل ١٣ ـــ ٢ رسوم تخطيطية لمراحل مكبرات التغذية المرتدة الاساسية .

يقال ان تغذية مرتدة على التوالى قد سلطت ، اذا دفعت اشارة ارتداد التغذية عند المدخل للاتصال على التوالى مـــع اشارة الدخل . ويوضح الرسمان التخطيطيان فى شكل ١٣ ـــ ٢ [أ] و [ب] أمثلة لمثل هذا النوع من الدوائر . وفى التغذية المرتدة على التوازى ، تحول أشارة التغذية الخلفية الى تيار وذلك بتسليطها على مقاومة ارتداد التغذية المبينة بالمقاومة R_f فى الرسوم التخطيطية [ب] و [د] فى شكل ١٣ ـــ ٢ . ويضاف التيار المـــار فى المقاومة R_f عند الوصلة S على التوازى مع تيار مصدر اشارة الدخل .

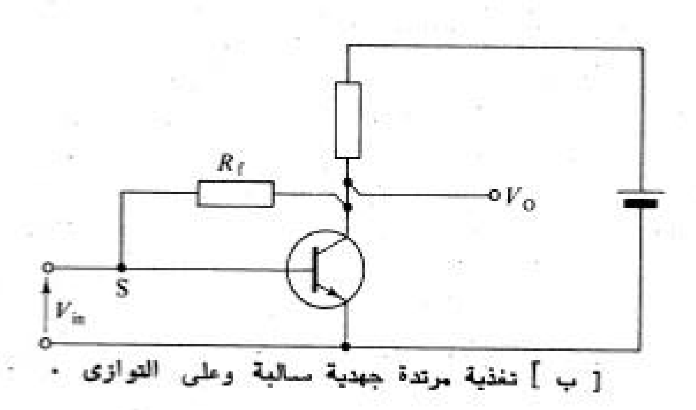
ان الطريقة التى تشتق بها اشارة التغذية المرتدة لهى بالمثل ذات مغزى . كما فى الدائرتين المبينتين فى شكل [أ] و [ب] . يقال عندئذ ان تغذية مرتدة جهدية قد سلطت على الدائرة . وعندما تكون أشارة التغذية الخلفية متناسبة مع تيار الخرج ، يقال أن تغذية مرتدة تيارية قد سلطت على الدائرة . والطريقة الشائعة للحصول على اشارة متناسبة مـــع تيار الخرج هى عن طريق توصيل مقاومة على التوالى مع الحمل . حيث وضحت مقاومة R من هذا النوع فى الرسمان التخطيطيان [أ] و [د] فى شكل ١٣ ـــ ٢ . ويتناسب الجهد الناتج بين طرفى هذه المقاومة مع تيار الحمل ، ويستخدم هذا الجهد كاشارة تغذية مرتدة . وقد تدفع هذه الاشارة الاخيرة لتوصيلها اما على التوالى مع اشارة الدخل [شكل ١٣ ـــ ٢ جـ] ، او على التوازى مع اشارة الدخل عن طريق المقاومة R_f [شكل ١٣ ـــ ٢ د] .

ويوضح شكل ١٣ — ٣ أمثلة عملية عن كيفية تسليط التغذية المرتدة على دوائر الترانزستور . حيث تتناظر الرسوم التخطيطية فى شكل ١٣ — ٢ من [أ] الى [د] مع الدوائر المبينة فى شكل ١٣ — ٣ من [أ] الى د] على الترتيب . وللبساطة والوضوح حذفت ترتيبات انحياز الدوائر فى شكل ١٣ — ٣ .
ويبدأ الجهد V_O فى الظهور بين طرفى المقاومة الموصلة بين طرف الباعث والارض فى الدائرة الموضحة فى شكل ١٣ — ٣ [أ] . ويحدث كل هذا الجهد المعاكس لاشارة الدخل ليغذى دائرة الدخل على التوالى معها بحيث يسلط 100 فى المائة تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالى . وتعرف هذه الدائرة باسم تابعة الباعث ، وستوضح بالتفصيل فى هذا الفصل .
أما فى الدائرة المبينة فى الشكل ١٣ — ٣ [ب] ، فان جهد الخرج يسلط على احدى نهايتى مقاومة ارتداد التغذية R_f ويضاف التيار المار خلال هذه المقاومة الى التيار المسحوب من مصدر الخرج V_{in} عند الوصلة S .
وتتحدد العلاقة بين طورى الدخل V_{in} والخرج V_O فى هذه الدائرة بحيث يسلط على المكبر تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوازى .

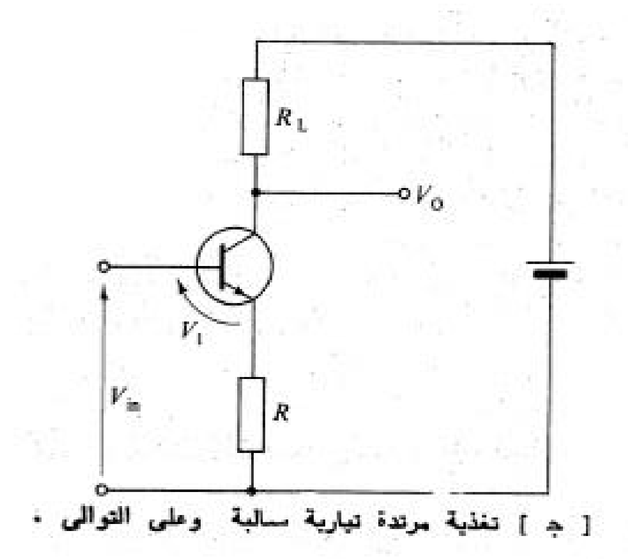
مقاومة الحمل R_L توصل على التوازى مع خط المجمع . وللمقاومة R عند طرف الباعث قيمة تقل كثيرا من مقاومة الحمل R_L ، وتتناسب قيمة الجهد بين طرفى R مع التيار المنساب فى مقاومة الحمل R_L . وتتحدد علاقة الطور بين جهود الدائرة بحيث ينقص فرق الجهد بين طرفى R من قيمة V لكى يصبح اقل من قيمة V_{in} .



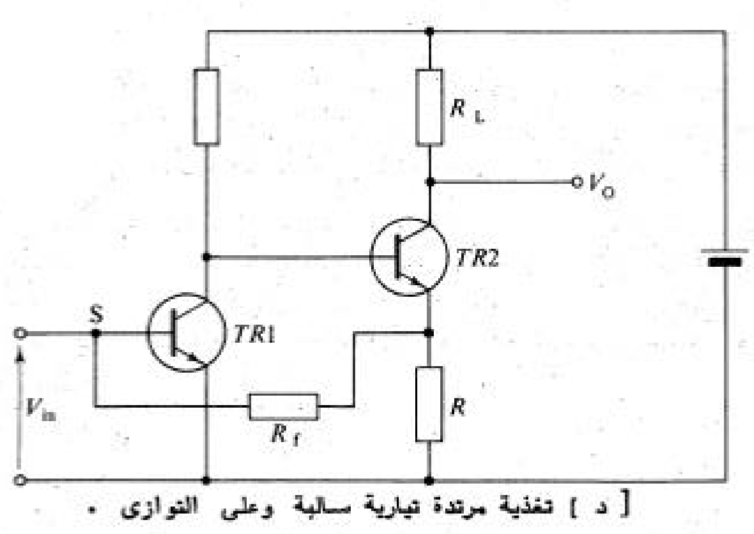
[أ] تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالى



[ب] تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوازى .



[ج] تغذية مرتدة تيارية سالبة وعلى التوالى .



[د] تغذية مرتدة تيارية سالبة وعلى التوازى .

شكل ١٣ — ٣ امثلة لدوائر مكبر التغذية المرتدة

وحيث ان الجهد بين طرفى المقاومة R موصل بالفعل على التوالى مع اشارة الدخل ، فان تغذية مرتدة تيارية سالبة وعلى التوالى تصبح سلطة عليها . ومن تحليل هذه الدائرة يتبين أن قيمة كسب الجهد تساوى تقريبا R_L/R ، فاذا كانت $R_L = 6{\cdot}8\ k\Omega$ و $R = 470\ \Omega$ فان قيمة كسب الجهد للدائرة المبينة فى شكل ١٣ — ٣ [ج] تصبح حوالى 14.5 .

ان دائرة الشكل ١٣ — ٣ [د] ، والتى سلط عليها تغذية مرتدة تيارية سالبة وعلى التوالى لاكثر تعقيدا من الدوائر الاخرى لانها تتضمن مرحلتين للتكبير وفى هذه الدائرة ، توصل مقاومة الحمل R_L فى دائرة المجمع للترانزستور TR2 ويمر تيار فى المقاومة R الموصلة فى دائرة الباعث للترانزستور TR2 تساوى قيمته بالتقريب تيار الحمل . ويسلط الجهد الناشىء بين طرفى هذه المقاومة لاحدى نهايتى مقاومة التغذية المرتدة Rf

ويضاف التيار المنساب فى المقاومة Rf على التوازى مع التيار الناتج من اشارة مصدر الدخل V_{in} عند الوصلة S . مرة اخرى تتحدد علاقات الطور فى الدائرة بحيث تسلط تغذية مرتدة سالبة وتصبح القيمة التقريبية لكسب جهد للدائرة المبينة فى شكل ١٣ — ٣ [د] R_f/R فاذا كانت $R = 470\ \Omega$ و $R_f = 4{\cdot}7\ k\Omega$ ، فان قيمة كسب الجهد الكلى تبلغ 10 وتستخدم صور من الدائرة المبينة فى شكل ١٣ — ٣ [د] بكثرة مع معدات التردد السمعى ، باستثناء أن شبكة معقدة من مقاومات ومكثفات تحل محل R_f . ويؤدى هذا الى امكانية تحقيق الشكل المطلوب لخواص الاستجابة الترددية للمكبر .

١٣ ــ ٤ سمات مكبرات التغذية المرتدة السالبة

تكثر وتتنوع سمات مكبرات التغذية المرتدة السالبة وسيعطى هنا ملخص مختصر للسمات الاساسية .

تؤثر التغذية المرتدة السالبة على متغيرات كثيرة من بينها كسب الجهد ومعاوقة الدخل ومعاوقة الخرج بالكيفية الموضحة ادناه . وتنسب التغيرات المجدولة بالنسبة الى القيمة المصاحبة للمكبر قبل تسليط التغذية المرتدة .

نوع التغذية المرتدة	اثرها على الكسب	اثرها على مقاومة الدخل	اثرها على مقاومة الخرج
تغذية مرتدة سالبة	تقل		
تغذية مرتدة سالبة وعلى التوازى		تقل	
تغذية مرتدة سالبة وعلى التوالى		تزداد	
تغذية مرتدة جهدية سالبة			تقل
تغذية مرتدة تيارية سالبة			تزداد

وفى بعض التطبيقات ، قد يستطيع مصدر اشارة أن يهيىء تيارا فى حدود جزء من الميكروامبير . وفى هذه الحالة ، يتحتم أن تكون المعاوقة الداخلية للمكبر ، الذى سيوصل معه مصدر الاشارة ، كبيرة حتى يسحب تيارا صغيرا جدا . ويتضح بجلاء من الجدول السابق ، أنه يجب استخدام مكبر التغذية المرتدة السالبة على التوالى ، حيث أن هذا يؤدى الى زيادة معاوقة دخل مكبر التغذية المرتدة عن معاوقة المكبر نفسه . وفى حالات اخرى ، قد تكون معاوقة الحمل الموصل بخرج المكبر .

ذات قيمة منخفضة وتسحب تيارا كبيرا نسبيا من المكبر . ففى هذه الحالة ، يصبح استخدام مكبر بتغذية مرتدة جهدية سالبة امرا ضروريا ،

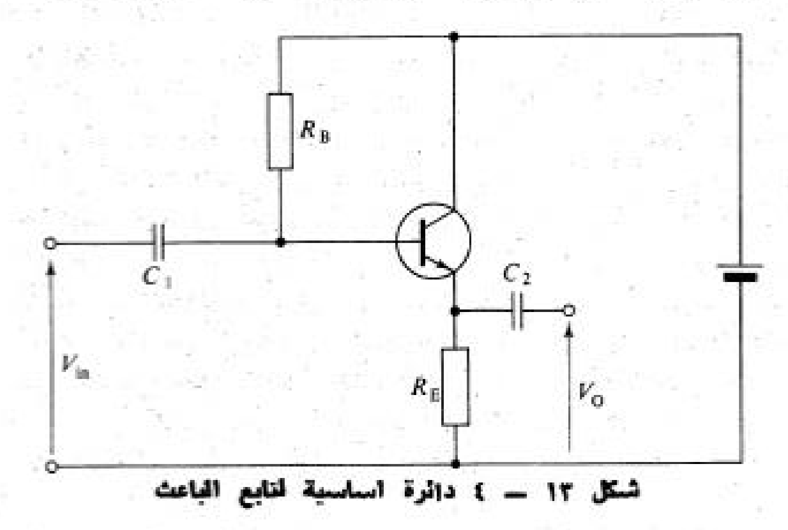
لان هذا يؤدى الى الاقلال من قيمة معاوقة الخرج لمكبر التغذية المرتدة عن قيمة معاوقة الخرج للمكبر نفسه . ومن ثم فان تسليط تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالى مع مكبر التغذية المرتدة يعطى خواصا تتمثل فى معاوقة الدخل المرتفعة ومعاوقة الخرج المنخفضة بالنسبة لمعاوقة المكبر الاساسى المستخدم فى الدائرة . ويوضح شكل ١٣ ــ ٣ [أ] مكبرا من هذا النوع .

وتحسن التغذية المرتدة السالبة ايضا استقرار الكسب للمكبر عند حدوث تغيرات فى الدائرة ، وقد تم توضيح ذلك فى الجزء ١٣ ــ ٢ ، كما انها تؤدى ايضا الى زيادة عرض النطاق الترددى لمكبر التغذية المرتدة عن عرض النطاق الترددى **للمكبر الاساسى . ومن الممكن اثبات أن حاصل ضرب الكسب فى عرض النطاق الترددى لمكبر** التغذية المرتدة هو مقدار ثابت ، بغض النظر عن كمية التغذية المرتدة المسلطة [انظر ايضا الفصل الرابع عشر] . فاذا نتج عن كمية التغذية المرتدة المسلطة خفض فى الكسب العددى بمعامل عشرة ، فان عرض النطاق الترددى يزداد بمعدل عشر المرات ايضا .

وتستطيع التغذية المرتدة السالبة ايضا ان تقلل من كمية تشوه اشارة الخرج بشرط ان درجة تشوه الاشارة لم تكن على درجة من الافراط قبل حدوث التغذية المرتدة .

١٣ ــ ٥ مكبرات تابع الباعث وتابع المصدر

يوضح شكل ١٣ ــ ٤ صورة من دائرة للتابع الباعث المستخدمة فى التطبيق العملى . وسيلاحظ القارىء التشابه بين دائرة تابع الباعث ومكبر التغذية المرتدة الجهدية السالبة وعلى التوالى والتى سبق عرضها فى شكل ١٣ ــ ٣ [جـ] ، حيث يتمثل الفرق بين هاتين الدائرتين فيما استجد من



شكل ١٣ ــ ٤ دائرة اساسية لتابع الباعث

مكونات اضافية R_B ، C_1 و C_2. وسيعطى السبب لاستخدام هذه المكونات فيما يلى :

المقاومة R_B هي مقاومة انحياز القاعدة وتمد الترانزستور بتيار السكون للقـــاعدة ، وبالتـــالى ، تحـــدد هـــذه القيمـــة تيـــار الســـكون البـــاعث . وتحـــدد أقصى قيمـــة لتأرجح الخرج بوأسطة فرق الجهد عبر طرفى المقاومة R_E ، حيث ان قيمة هذا الجهد لن تستطيع الهبوط لاقل من الصفر [عندما يقل تيار القاعدة الى الصفر بواسطة اشارة الدخل] وتستطيع ان تقترب قيمتها من جهد المصدر [عندما يدفع الترانزستور الى حالة التشبع بواسطة اشارة الدخل] . فاذا كان لتأرجح جهد الخرج أن يتخذ قيمة كبيرة ، فانه يتحتم ان تكون قيمة جهد السكون عند الباعث مساوية لنصف قيمة جهد المصدر بالتقريب . فاذا كان جهد المصدر **9V** واذا كان تيار السكون للباعث **1 mA** فان قيمة مقاومة الباعث يمكن أن تبلغ قيمتها 4.7 kΩ. ولسوف تقع القيمة المناسبة لقيمة المقاومة R_B فى المـدى من 150 kΩ الى 390 kΩ طبقا لقيمة كسب التيار للترانزستور .

ووظيفة المكثف المانع C_1 هى منع التيار المستمر لدائرة الانحيـــاز من الانسياب فى دائرة دخل مصدر الاشارة . وحيث أن تغذية سالبة مرتدة وعلى التوازى سلطت فى هذه الحالة ، فان معاوقة الدخل للمكبر تصبح مرتفعة [تساوى فى العادة قيمة المقاومة R_B] ، بحيث يمكن أن تكون سعة المكثف C_1 منخفضة ، وان قيمة لها فى فى حدود 0.5 μF تعتبر ملائمة بالنسبة لتطبيقات كثيرة فى مجال التردد السمعى .

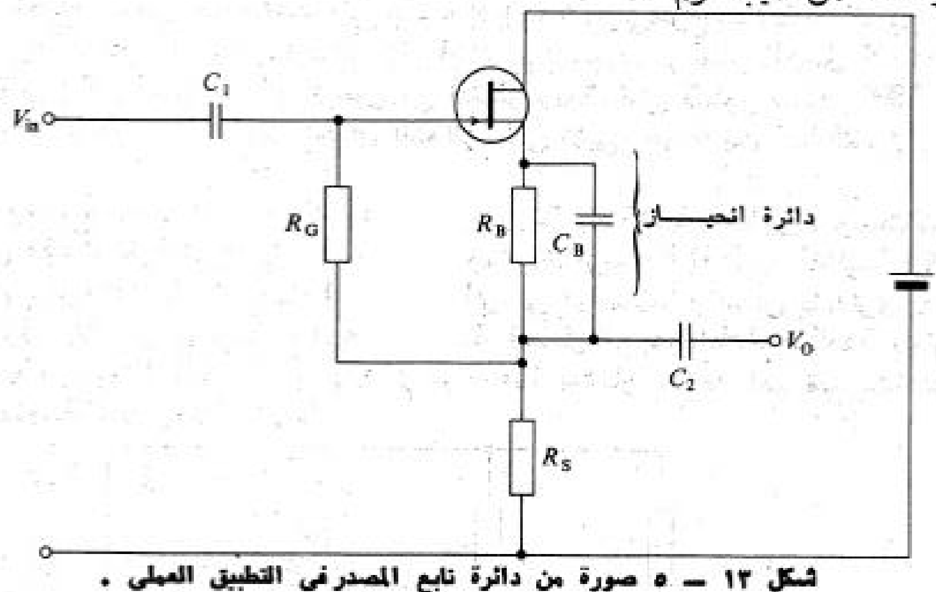
وتؤخذ المركبة المترددة لجهد الخرج V_O من باعث الترانزستور عن طريق المكثف العائق للتيار المستمر C_2 . ومفاعلة هذا المكثف منخفضة عند تردد التشغيل بحيث يصبح الهبوط فى جهد التيار المتردد بين طرفيه صغيرا جدا . ومن الممكن استخدام قيمة للمكثف C_2 تعادل 50 μF لاحتمالات كثيرة فى مجال التردد السمعى .

ولنأخذ فى الاعتبار عمل هذه الدائرة ، عند تسليط جهد V_{in} عند الدخل ، يزيد تيار القاعدة ومعه يزداد تيار الباعث ايضا ، كلما ازدادت قيمة V_{in} وبناء على ذلك ، تزداد قيمة الجهد بين طرفى المقاومة R_E ايضا . وبالمثل عندما تتناقص قيمة V_{in} ، تتناقص ايضا قيمة V_O . مما ذكر سابقا ، يتضح ان طور اشارة الخرج المتردد يتفق مع طور اشارة الدخل . وعلاوة على ذلك ، حيث ان فرق الجهد المتردد بين القاعدة والباعث له قيمة صغيرة نسبيا ، فان قيمة جهد الخرج المتردد تساوى تقريبا قيمة اشارة الدخل V_{in} اى أن قيمة كسب الجهد تساوى واحد بالتقريب ، وبالنظر الى أن قيمة جهد الدخل تساوى بالتقريب قيمة جهد الخرج ، يقال ان جهد باعثالترانزستور يتبع ، التغيرات فى جهد قاعدة الترانزستور . وهكذا تسمى هذه الدائرة تابع الباعث . ويطلق اسم توابع الجهد فى بعض الاحيان على مجموعة الدوائر ذات الخواص السابقة .

وبالاضافة ، حيث أن تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالى مسلطة ، فان معاوقة الدخل لدائرة تابع الباعث تزيد كثيرا عن معاوقة الترانزستور وتصبح معاوقة الخرج لها صغيرة جدا فى العادة بضعة وحدات من الاوم .

وهذه السمات السابقة تجعل من تابع الباعث عنصرا مفيدا للعمل كمكبر صاد كسبه الوحده ، ويوصف اسمه بالمكبر الصاد لانه يفرض حملا كهربائيا صغيرا جدا على مصدر اشارة الدخل ، ومع ذلك فان معاوقة خرجه منخفضة بالدرجة التي تكفي لتمكينه من دفع التيار خلال معاوقة منخفضة نسبيا للحمل، الذي يمكن ان يكون خطا للارسال مثلا .

ويوضح شكل ١٣ — ٥ صورة اخرى لتابع الجهد الذي يسمى تابع المصدر، ومن السمات الهامة لهذه الدائرة ان معاوقة دخلها تزيد حتى عن معاوقة تابع الباعث ، ويمكن أن نحصل بسهولة على معاوقة للدخل في حدود بضعة وحدات من الميجا اوم .



شكل ١٣ — ٥ صورة من دائرة تابع المصدر في التطبيق العملي .

وقد اتيحت هذه السمعة من حقيقة ان ترانزستور التأثير المجالي (FET) يستخدم كنبيطة فعالة في المكبر .

ويشتق جهد الانحياز لترانزستور التأثير المجالي (FET) من دائرة الانحياز الذاتي المكونة من المقاومة R_B المتصلة على التوازي مع C_B، والمتصلتين على التوالي مع الكترود المصدر . ويظهر جهد الانحياز بين طرفي المقاومة R_B نتيجة لانسياب تيار السكون لترانزستور التأثير المجالي (FET) خلالها . ويسلط هذا الجهد على بوابة ترانزستور التأثير المجالي (FET) بواسطة المقاومة R_G ، التي تقع قيمتها في المدى من 1 MΩ الى 10 MΩ. هذا ولمفاعلة مكثف التنويت C_B قيمة صغيرة بالنسبة الى قيمة المقاومة R_B عند تردد التشغيل فيقوم المكثف بتهيئة دائرة قصر فعالة للتيار المتردد عبر R_B ، بحيث يتابع الخرج بكل دقة ما يحدث من تغيرات في اشارة الدخل ، والمكثفان C_1 و C_2 يعوقان مرور التيار المستمر ويسمحان بنقل اشارتي الدخل والخرج V_{in} و V_O، خلالهما بفقد صغير جدا .

وتؤدي الزيادة في قيمة الجهد V_{in} في شكل ١٣ — ٥ الى زيادة التيار المنساب خلال ترانزستور التأثير المجالي (FET) ومعه يزداد جهد الخرج. وكنتيجة لهذا ، يتبع جهد طرف الخرج تغيرات اشارة الدخل بالتقريب .

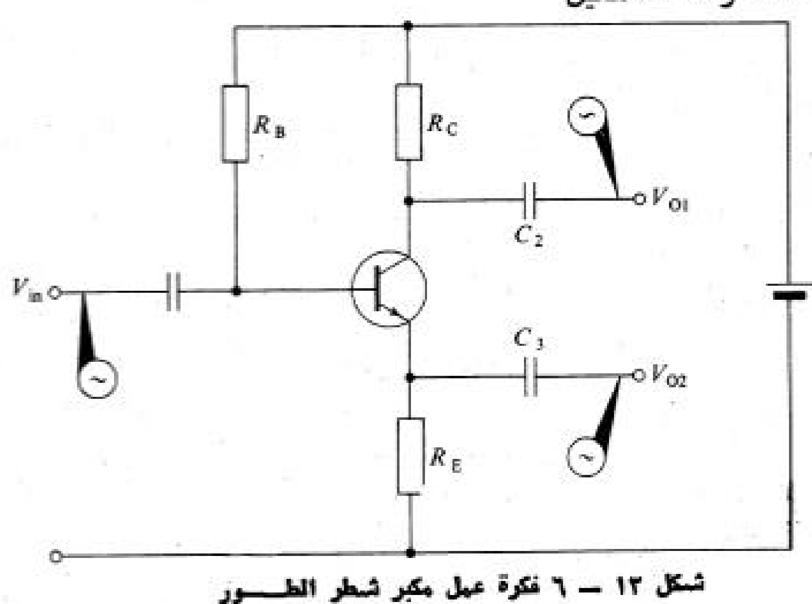
ويكتسب تابع المصدر السمات التالية والتى تشاركه فيها ايضا دائرة تابع الباعث .

[أ] له كسب جهد يعادل الوحدة بالتقريب وهو مكبر غير عاكس للطور
[ب] له معاوقة دخل مرتفعة
[د] له معاوقة خرج منخفضة

١٣ ــ ٦ مكبر شطر الطور

تحتاج بعض التطبيقات الى دائرة لتزود اشارتىخرج متضادتا الطور . وعلى سبيل المثال ، تحتاج المكبرات دفع ــ جذب [انظر الفصل الحادى عشر] الى اشارتين متساويتين فى المقدار ومتضادتى الطور بمقدار °180 . ومكبر شطر الطور يمثل احدى الدوائر التى تهيىء خرجا من هذا النوع .

يوضح شكل ١٣ ــ ٦ فكرة عمل كثير من مكبرات شطر الطور . ويستخدم فى هذه الدائرة مقاومتى حمل هما المقاومة R_C فىدائرة المجمع والمقاومة R_E فى دائرة الباعث . بحيث أن التيار المار فى أى منهما يكاد أن يتساوى مع التيار الاخر والمقاومة R_B هى مقاومة انحياز تزود منطقة القاعدة بتيار السكون والمكثفات C_1 ، C_2 و C_3 هما مكثفان مانعة لهم قيم مفاعلة منخفضة عند تردد التشغيل



شكل ١٣ ــ ٦ فكرة عمل مكبر شطر الطــــور

وعندما تزيد قيمة اشارة الدخل V_{in} ، فان ذلك يؤدى الى قيمة التيار فى كل من هذا المجمع والباعث . وبالتالى ، يزداد فرق الجهد بين طرفى كل من R_C و R_E . وكنتيجة لذلك تنخفض قيمة جهد المجمع (V_{O1}) وتزداد قيمة جهد الباعث (V_{O2}) ، أى ان طورى V_{O1} و V_{O2} متضادان بينما طورا V_{O2} و V_{in} متفقان . وفى دوائر كثيرة ، تتساوى قيمتا R_C و R_E وحيث ان تغير التيار الناتج عن V_{in} متساويا فى كلتا المقاومتين ، فان قيمة كسب

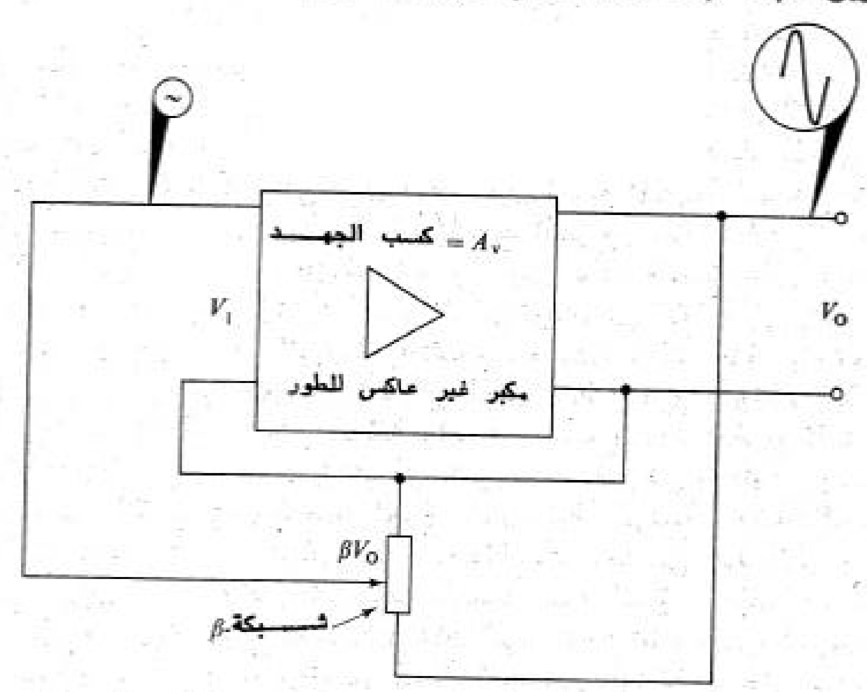
الجهد بين V_{in} و V_{O1} تتخذ نفس القيمة لكسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} بالتقريب وعلاوة على ذلك ، فبناء على مفعول تابع الباعث فان قيمة كسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} تقارب الوحدة . اى انه اذا كانت $R_C = R_E$ ، فان كسب الجهد المعطى بالنسبة V_{O1}/V_{in} له قيمة تساوى حوالى 1 — والنسبة بين V_{O2}/V_{in} لها قيمة الوحدة بالتقريب .

وفى الدائرة التى تتساوى فيها مقاومة كل من المجمع والباعث ، يجب ان يساوى جهد السكون من المجمع والباعث حوالى $0{\cdot}75V_{CC}$ و $0{\cdot}25V_{CC}$ على التوالى . ويسمح هذا باقتراب اقصى جهد للتأرجح بين طرفى كل مقاومة من حوالى 50% من جهد المصدر .

واذا اختلفت قيمة مقاومة الباعث عن قيمة مقاومة المجمع ، فان كسب الجهد بين V_{in} ، V_{O2} يقارب الوحدة طبقا لمفعول تابع الباعث ، أما قيمة الجهد V_{O1}/V_{in} فانها تعطى بالنسبة R_C/R_E تقريبا . كمثال ، اذا كانت $R_C = 10\ k\Omega$ و $R_E = 1\ k\Omega$ فان قيمة V_{O1}/V_{in} تصبح حوالى 10 .

١٣ ــ ٧ التغذية المرتدة الموجبة واللااستقرارية

بالاخذ فى الاعتبار عمل مكبر التغذية المرتدة فى شكل ١٣ — ٧ والذى يستخدم مكبرا غير عاكس للطور ، فمع مثل هذا المكبر يتفق طور V_1 مع طور V_O . كذلك ، يمكن التوصل على اشارة الدخل مباشرة من الخرج عن طريق شبكة β ، لهذه الدائرة الموضحة .



شكل ١٣ ــ ٧ فكرة عمل دوائر المذبذبات التى تستخدم تغذية مرتدة موجبة .

دعنا نفترض ان كسب الجهد A_v للمكبر هو $+100$ وان شبكة — β تقلل او تضعف هذه الاشارة بمعامل 0.01 قبل تسليطها على طرفى دخل المكبر . فضلا عن ذلك ، لنفترض أن قيمة V_1 بصفة مبدئية تساوى 0.1 V حيث أن كسب الجهد للمكبر هو 100،فان قيمة V_0 هى $100 \times 0.1 = 10V$ وتضعف شبكة β هذا الجهد الى $10 \times 0.01 = 0.1$ V وسيلاحظ القارىء أن قيمة جهد التغذية المرتدة الى دخل المكبر يكاد يكافىء للحفاظ على قيمة قدرها 10V عند طرفى خرج المكبر . اى انه من الناحية النظرية ، تظل جهود الدائرة بقيم $V_1 = 0{\cdot}1$ V و $V_0 = 10$ V بدون حدود ، ويعرف هذا بالاستقرار المشروط . فاذا استمرت المناقشة السابقة بالنسبة لقيمة اخرى للجهد $V_1 = 0{\cdot}2$ V ، فسوف يضطر القارىء الى استنتاج أن جهد الخرج سيظل عند قيمة 20 V . وفى الحقيقة فانه فى حالة الاستقرار المشروط للدائرة ، فمن الممكن من الناحية النظرية أن تستطيع اى وكل قيمة من جهد الخرج أن تزود دخل المكبر الصحيح الذى يكاد يكفى للحفاظ على جهد الخرج ، عند القيمة الاصلية . ولكى يحدث هذا ، يتحتم ان تكون قيمة كسب الجهد للدائرة الكهربائية الكاملة المحتوية على المكبر والشبكة — β هى الوحدة . اى ان

$$A_v \beta = 1$$

وفى الحالة السابقة $A_v = 100$ و $\beta = 0{\cdot}01$ مما يعطى قيمة للكسب الاطارى تعادل الوحدة .

وفى التطبيق العملى ، فمن النـــــادر ان تبلغ القيمة اللحظية للكسب الاطارى ما يعادل الوحدة ، كما سيوضح فيما يلى : فالدائرة العملية من الطراز الموضح فى شكل ١٣ — ٧ ، يتم تصميمها بحيث تصبح قيمة كسبها الاطارى عند مجرد توصيلها اكبر من الوحدة . كمثال ، اذا كانت القيمة الابتدائية لكسب المكبر A_v تساوى 110 وكانت قيمة β تساوى 0.01 ، فان القيمة الابتدائية للكسب الاطارى تساوى 1.1 . وتحت هـذه الظروف تزيد اشارة التغذية المرتدة الى دخل المكبر عن القيمة المطلوبة للحفاظ على جهد الخرج عند قيمة ثابتة . ومن ثم ، يبدأ جهد الخرج ومعه اشارة التغذية المرتدة الى طرفى الدخل فى الزيادة ايضا . ولن يمكن الحفاظ على هـذه الحالة بدون حدود ، حيث أن زيادة جهد الدخل تؤدى فى النهاية الى اقتراب الترانزستور عند دخل المكبر الى حالة التشبع . وعندما يحدث هذا ، ينخفض كسب الجهد للمكبر ومعه ينخفض وبنفس المعدل جهد الخرج . واخيرا يكف جهد الخرج عن التزايد ، وفى لحظة واحدة ، يصبح جهد الخرج ثابتا ، وبعد هذه اللحظة من الزمن ، يؤدى اى تشويش صغير فى الدائرة [وهذا يقع باستمرار] الى بدء هبوط جهد الخرج من مستواه المرتفع . وتهبط ايضا اشارة التغذيةالمرتدة V_1 الى دخل المكبر، معجلةبذلك انخفاض جهد الخرج . وفى النهاية ، يهبط جهد الخرج الى نقطة تسبب عندها اشارة التغذية المرتدة ان يقترب الترانزستور عند مدخل المكبر الى حالة القطع . مرة اخرى ، ينخفض كسب الجهد للمكبر ويتناقص معدل انخفاض جهدالخرج حتى يصبح فى النهاية وعند لحظة معينة ثابت القيمة . وبطريقة تكاد تكون فورية ،

يبدأ جهد الخرج فى الازدياد مرة اخرى ، ويتكرر التسلسل الموضح سابقا بدون حدود .

وهكذا تؤدى التغذية المرتدة الموجبة بدرجة كافية الى تذبذب جهد الخرج بطريقة مستمرة وتكون الدائرة فى شكل ١٣ — ٧ اساسا لاشكال كثيرة لدائرة مذبذب مرتدة التغذية . وفى كثير من هذه الدوائر ، تحتوى شبكة ارتداد التغذية على مقاومات ومكثفات ، وفى البعض الاخر ، تحتوى على ملفات ومكثفات . ويتخذ الشكل الموجى لجهد الخرج فى بعض المذبذبات شكلا جيبيا وفى البعض الاخر يمكن أن يكون على شـكل موجات مربعة او مثلثة .

وبالرغم من انه لكى يبدأ التذبذب ، يجب أن يكون للدائرة كسبا اطاريا [اى قيمة حاصل ضرب $A_v\beta$] تزيد قيمته عن الوحدة ، الا انه يتحتم لمجرد القيمة المتوسطة للكسب الاطارى اى تساوى الوحدة عبر الدورة الكاملة من اجل الحفاظ على استمرارية التذبذب . فحالما تبدأ تذبذبات جهد الخرج تصبح قيمة الكسب الاطارى منتظمة تلقائيا لتعطى قيمة متوسطة تساوى الوحدة عبر الدورة الكاملة .

١٣ — ٨ دوائر مذبـذبات المقـاومات والمكثفـات

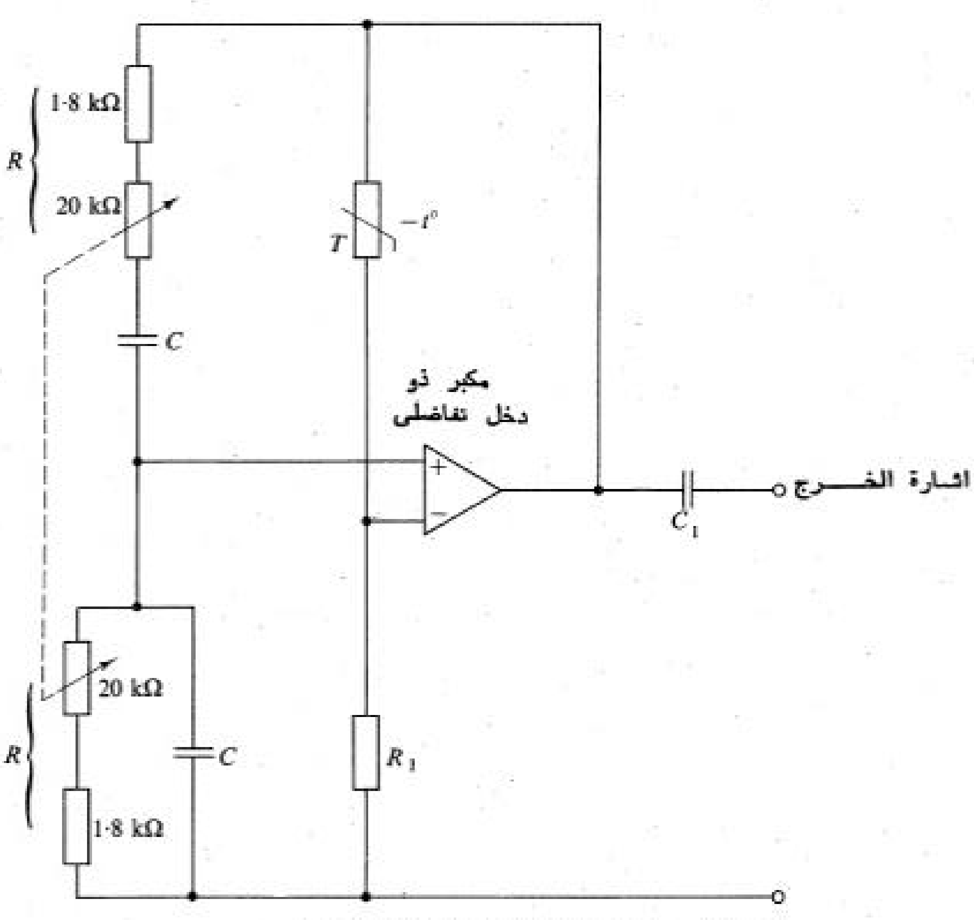
مذبذبات المقاومات والمكثفات هى دوائر تغذية مرتدة موجبة تستخـدم مجموعة من المقاومات والمكثفات فى شبكة ارتداد التغـذية . والمميزات الرئيسية لمذبذبات RC بالنسبة للانواع الاخرى فى المدى الترددى من 1 Hz الى 1 MHz ، هو توافر امكانيات التحصيل على قيم مناسبة للمقاومات والمكثفات . ووظيفة شبكة ارتداد التغذية RC هو تاكيد ان التغذية المرتدة الموجبة مسلطة الى المكبر ، قد ارتدت الى المكبر .

ولتنفيذ ذلك ، تقدم الشبكة ازاحة لطور الاشارة المسلطة عليها . ونتيجة لتلك الحقيقة ، تسمى الدوائر من مثل هذا النوع باسم مذبذبات ازاحة الطور .

ويوضح شكل ١٣ — ٨ النوع الشائع جدا لدائرة مذبذب RC تعرف باسم مذبذب قنطرة فين . وقد اخذ اسم قنطرة فين نظرا لتشابه دائرة المكثفات والمقاومات عند دخل المكبر مع دائرة قنطرة كهربائية تعرف بقنطرة فين[٤٠٥]

فى هذه الدائرة ، يستخدم مكبر ذو دخلين منفصلين ، وسيعطى هنا مجرد وصف مختصر للمكبر ، حيث اننا سنتعرض له بالتفصيل فى الفصل الرابع عشر . يتفق طور اشارة جهد الخرج من المكبر مع طور الاشارة المسلطة على طرف الغير — عاكس [وعليه العلامة +] ولكنه يضاد طور الاشـارة المسلطة على طرف الدخل العاكس [وعليه العلامة « — »] . وتؤثر اشارة التغذية المرتدة المأخوذة من خرج المكبر على كل من طرفى الدخل ، فالاشارة المؤثرة على طرفى الدخل + تسلط تغذية مرتدة موجبة على الدائرة بينما

الاشارة المؤثرة على طرف الدخل – تسلط تغذية مرتدة سالبة . وتحدد قيم مكونات الدائرة . بحيث يغلب تأثير الاشارة المسلطة على الدخل + وتسلط تغذية مرتدة موجبة اجمالية لتؤدى الى حدوث التذبذبات .



شكل ١٢ ـــ ٨ صورة شائعة لمذبذبات قنطرة فين

وتتكون المقاومة R فى كل من جزئى RC من عنصرين كما يلى : يستخدم تجمع المقاومتين التوأم المتغير كوسيلة . للتحكم فى التردد ، ويضمن المقاوم الثابت 1·8 kΩ لتأكيد ان القيمة الكلية للمقاومة فى الدائرة لن تنخفض الى الصفر عندما تقل قيمة المقاومة المتغيرة الى الصفر . ومع قيم المقاومات الموضحة فى الشكل ، يمكن تغير تردد تذبذب الدائرة على مدى ترددى يزيد قليلا عن 1 : 10 . ويعطى تردد تذبذب الدائرة من العلاقة

$$f_0 = 1/6{\cdot}28RC \quad \text{Hz}$$

حيث تعطى قيمة R بالاوم وقيمة C بالميكروفراد . فاذا كانت قيمة $C = 0{\cdot}5\ \mu F$ فان قيمة تردد التذبذب للدائرة تقع فى المدى من حوالى **15 Hz** الى حوالى **180 Hz** . هذا ويؤدى انقاص قيمة المكثف C لقيمة تساوى $0{\cdot}05\ \mu F$ الى أن يصبح تردد التذبذب بين **150 Hz** الى **1800 Hz** . ومن الممكن بناء مذبذب بسيط باستخدام مكبر تشغيلى من النوع **741** [انظر

الفصلين الثانى عشر والرابع عشر] . مع ثرمستور (T) طراز R 53 ومقاومة (R_1) قيمتها 470Ω .

ووظيفة الثرمستور T والمقاومة R_1 بالنسبة للمذبذب هى توفير استقرار جيد لسعة جهد الخرج . وسيوضح فيما يلى الطريقة التى تهيىء بها هذه المكونات استقرارا لسعة الجهد .

فاذا جنحت قيمة ج.م.م جهد الخرج الى الزيادة ، فان التيار المنساب خلال الثرمستور يزداد ايضا . ويؤدى تأثير الحرارة الذاتية للتيار المنساب فى الثرمستور الى انخفاض قيمة مقاومتها وهكذا تسلط جزءا اكبر من جهد الخرج على طرف الدخل للمكبر . وحيث ان اشارة الدخل هذه تسلط تغذية مرتدة سالبة على الدائرة ، فان تأثيرها يــؤدى الى اقلال كسب الجهد الاجمالى للمكبر والنتيجة النهائية هى عودة سريعة لقيمة ج.م.م جهد الخرج الى قيمة اقرب الى الصحة .

وتستخدم مذبذبات قنطرة فين بكثرة فى المعامل ، وتهيىء أشارة جيبية مستقرة مع تشوه قليل جدا .

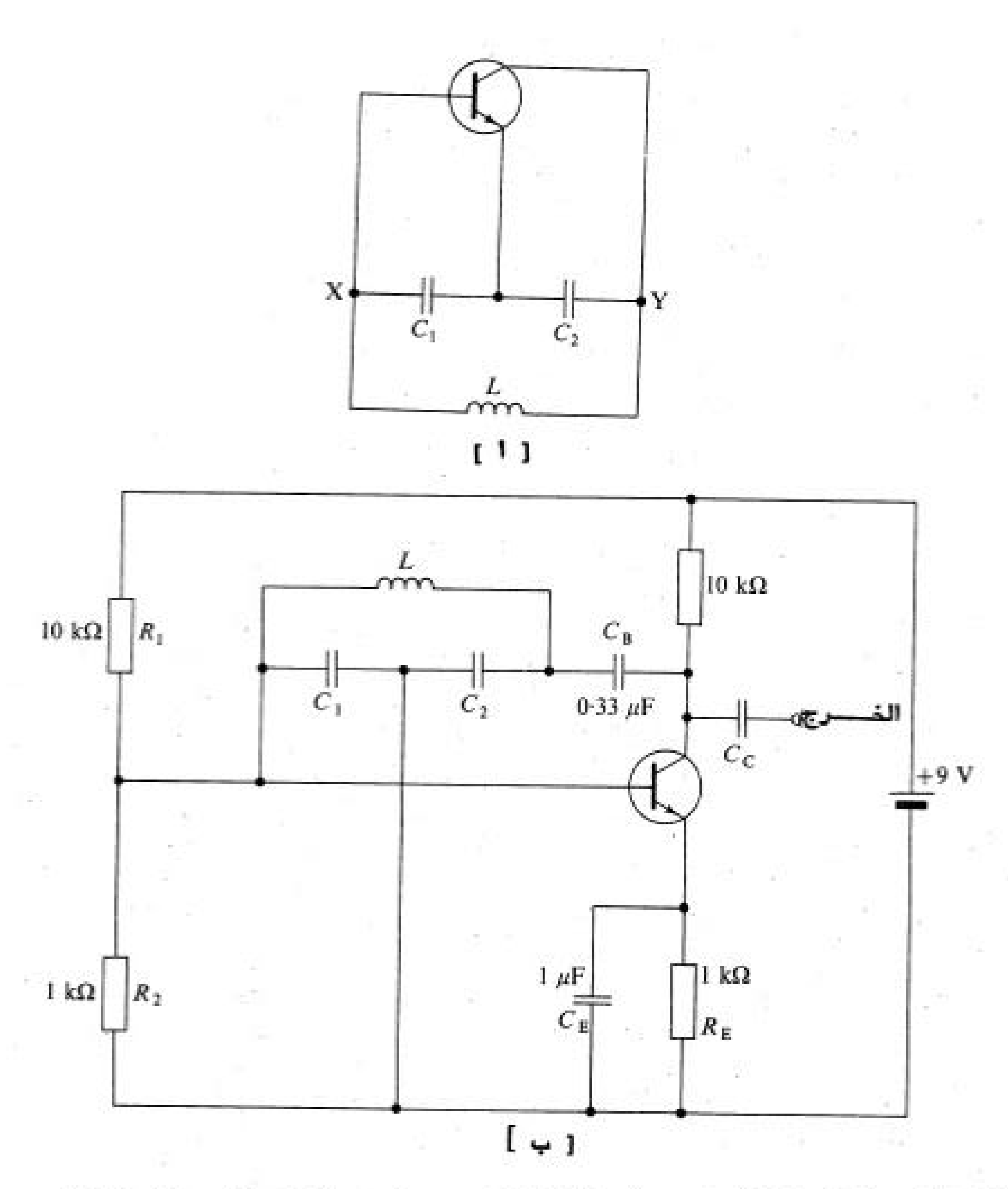
١٣ ــ ٩ دوائر مذبذبات المحاثات والمكثفات

عند الترددات المرتفعة جدا ، اى اكثر من حوالى MHz ، تفوق المذبذبات التى تستخدم المحاثة والمكثف لدوائر تغذيتها المرتدة ، تلك المذبذبات التى تستخدم المقاومة والمكثف .

ويوضح شكل ١٣ ــ ٩ احــدى صور مذبذب LC المعروف بمــذبذب كولبيتس . ويبين الرســم التخطيطى فى شكل ١٣ ــ ٩ القواعد الرئيسية لهذا المذبذب . اذ تحدد قيمة تردد تذبذب الدائرة بتردد الرنين للدائرة المحتوية على الملف L والمكثفان C_1 و C_2 . وفى هذه الدائرة ، تزيد سعة المكثف C_1 كثيرا عن قيمة المكثف C_2 ، وحيث ان المكثفين متصلين على التوالى ، فان السعة الفعالة للمكثفين تساوى بالتقريب سعة المكثف C_2 [أنظر الجزء ٣ ــ ٧ من الفصل الثالث ايضا] . ونتيجة لذلك ، تعطى القيمة التقريبية لتردد الرنين للدائرة بالعلاقة

$$f_0 \simeq 1/6{\cdot}28\sqrt{(LC_2)} \quad \text{Hz}$$

حيث تحدد قيمة L بالهنرى و C بالميكروفراد .



شكل ١٣ ــ ٩ [أ] اساس عمل مذبذب كولبيتس و [ب] احد اشــــكال الدائرة المستخدمة فى التطبيق العملى .

هذا ودائرة LC بين النقطتين X و Y فى شكل ١٣ ــ ٩ [أ] هي عبارة عن دائرة توازى لها معاوقة مرتفعة جدا عند حالة الرنين . ويشارك المكثفان C_1 و C_2 الجهد عبر الدائرة ، فيسلط الجهد بين طرفي المكثف C_1 على دخل الترانزستور اى بين القاعدة والباعث . وتحدد علاقة الطور بين جهدى القاعدة والمجمع بحيث تسلط تغذية مرتدة موجبة على الــدائرة وتتواجد الاحوال الصحيحة المهيأة للتذبذب .

ويوضح شكل ١٣ ــ ٩ شكلا لدائرة مستخدمة فى التطبيق العملى وتدعو الحاجة الى المكونات R_1 و R_2 و C_E لاغراض الانحياز والاستقرار الحرارى ، كما تدعو الحاجة الى المكثفين C_B و C_C لاغراض اعاقة التيار

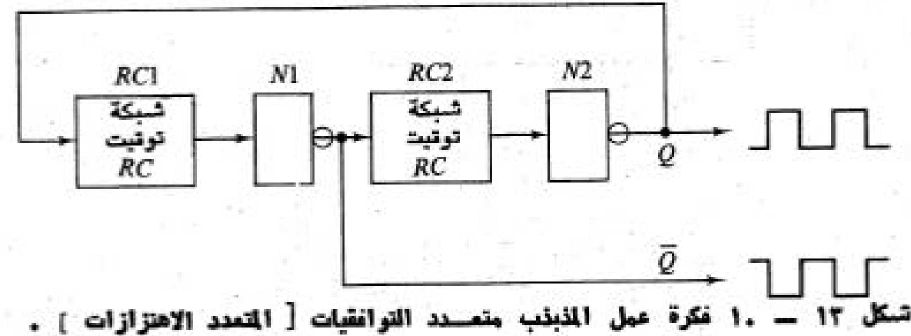
المستمر . وتصبح الشبكة التى تحوى المحاثة L والمكثفين C_1 و C_2 هي ذلك الجزء من الدائرة الموضحة فى شكل ١٣ — ٩ [ب] الذى يحدد قيمة التردد حيث يحقق كل عنصر منها الوظائف الموجزه فى شكل ١٣ — ٩ [أ] .

ومن الممكن استخدام هذا النوع من الدوائر لتوليد ترددات فى المدى ما بين التردد السمعى وعده جيجاهيرتز [1GHz = مليون كيلوهرتز] .

١٣ ـ ١٠ المذبذبات متعـددة التوافقيات الغير مسـتقرة

ان المذبذب متعدد التوافقيات الغير مستقرة أو المذبذب متعدد التوافقيات طليق الحركة هو عبارة عن دائرة تهيىء من خرجه شكلا موجيا مربعا [أو يقترب من ذلك] . وتساوى القيمة الابتدائية لجهد الخرج Q . من الدائرة الصفر ولفترة من الزمن تحدد بواسطة شبكة التوقيت RC ، تزداد بعدها الى قيمة أعلى من الجهد . ويظل الخرج عند المستوى المرتفع من الجهـد لفترة من الزمن تحدد بواسطة شبكة التوقيت RC الثابتة ، تهبط قيمة الخرج بعـدها الى الصفر مرة اخرى وتتكرر هذه الدورة من الاحـداث بـدون حـدود .

ومن الممكن شرح فكرة عمل هذه الدائرة بالاستعانة بالرسم التخطيطى فى شكل ١٣ — ١٠ . يتكون المذبذب متعدد التوافقيات [المتعدد الاهتزازات] من بوابتى NOT هما N1 و N2 بحلقة للتغذية المرتدة الموجبة تحتوى على شبكتى توقيت RC هما $RC1$ و $RC2$ على الترتيب .

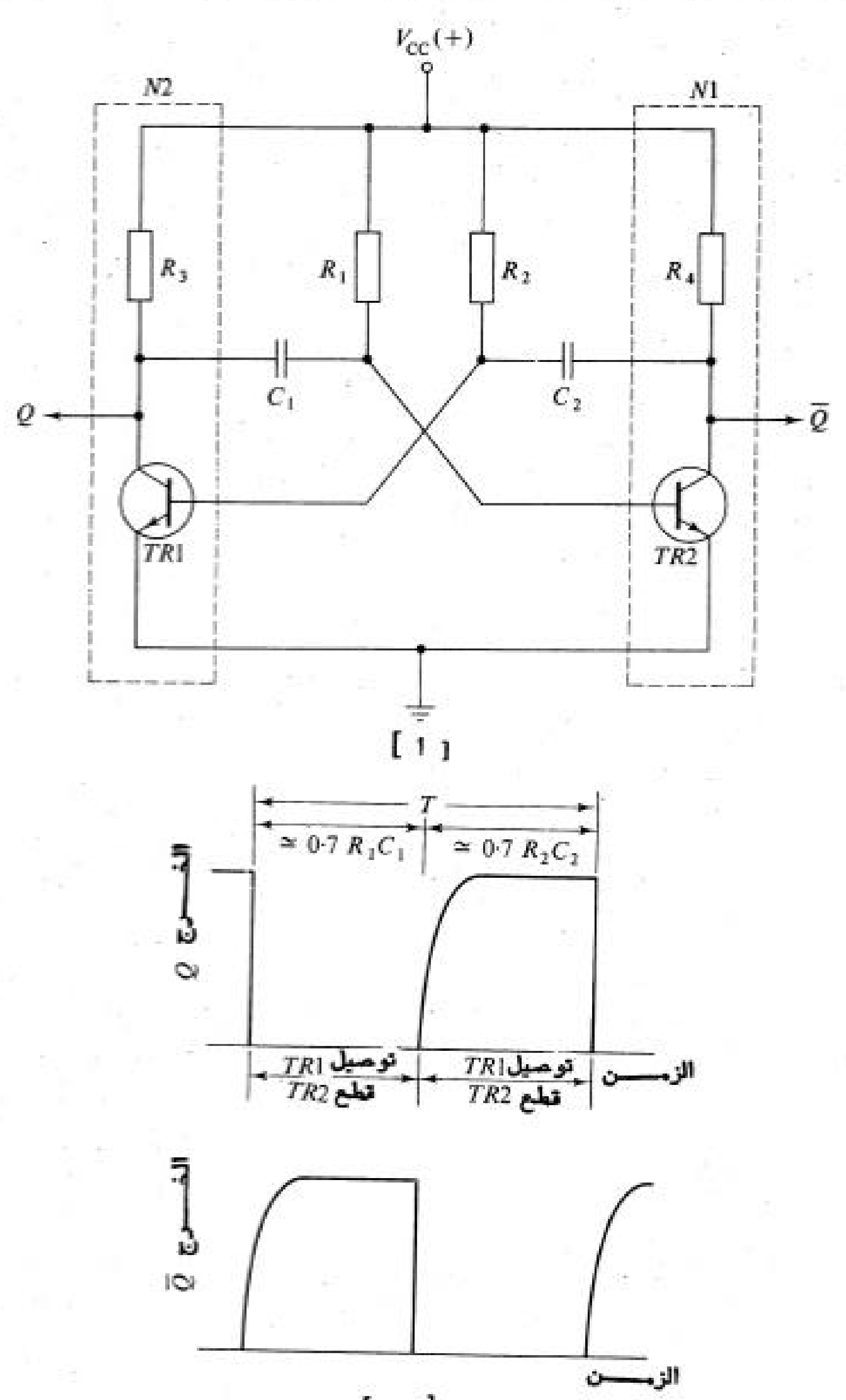


شكل ١٣ — ١٠ فكرة عمل المذبذب متعـدد التوافقيات [المتعدد الاهتزازات] .

وتعطى شبكات التوقيت درجة التأخير المشار اليها سابقا ، ويتمم كل من الخرجين Q و Q من البوابتين N2 و N1 على الترتيب بعضهما البعض . بمعنى أنه عندما يكون الخرج Q مرتفعا او عند المنطق «1» فان الخرج Q يصبح منخفضا او عند المنطق «O» .

ويوضح شكل ١٣ — ١١ الصورة الشائعة لهذه الدائرة فى التطبيق العملى . وبمقارنة هذه الدائرة معشكل ١٣ — ١٠ يتضح أن بوابة اللاسماح فى الشكل الاخير تتكون من الترانزستور TR2 والمقاومة R4فى شكل ١٣ — ١١ ، وتتكون البوابةN2من الترانزستور TR1 والمقاومةR3 وتشمل

دوائر التوقيت RC1 و RC2 فى شكل ١٣ ـ ١٠ المكونات R_1C_1 و R_2C_2 على الترتيب ، فى شكل ١٣ — ١١ . تؤكد التوصيلات الداخلية ، بين البوابتين أنه عندما يتشبع الترانزستور TR1 فان الترانزستور TR2 يصبح فى حالة القطع والعكس بالعكس وفترة قطع الترانزستور TR1 تساوى الى درجة كبيرة جداً $0{\cdot}7R_2C_2$ ثانية [R بالاوم و C بالفاراد أو R ميجااوم و C بالميكروفاراد] ، وتساوى فترة قطع الترانزستور TR2 الى درجة كبيرة جدا $0{\cdot}7R_1C_1$ ثانية . وفى دوائر كثيرة يصبح من الانسب استعمال قيمة موحدة للمقاومتين بحيث أن $R_1 = R_2 = R$ وبالمثل توحد



شكل ١٣ — ١١ [أ] الدائرة الشائعة للمذبذب متعدد التوافقيات و [ب] الاشكال الموجية للخرج .

قيم المكثفين $(C_1 = C_2 = C)$ والزمن الدورى T للتذبذب فى هذه الدائرة هو

$$T \simeq 1{\cdot}4RC \text{ seconds}$$

وتردد التذبذبات هو

$$f_0 = 1/T = 1/1{\cdot}4RC$$

فمثلا اذا كانت $R = 10\ k\Omega$ (أو $0{\cdot}01\ M\Omega$) و $C = 0{\cdot}01\ \mu F$

فان $T = 1{\cdot}4 \times 0{\cdot}01 \times 0{\cdot}01 = 1{\cdot}4 \times 10^{-4}\ s$

و

$$f_0 = 1/T = 1/(1{\cdot}4 \times 10^{-4}) = 7143\ Hz$$

وفى الحقيقة ، يحتمل ان يختلف تردد التذبذب للخرج قليلا عن القيمة المحسوبة سابقا ، وتتضمن الاسباب أن قيم المقاومات والمكثفات لا تحيد عن قيمتها الاسمية فحسب بل أن مصدر الجهد ومتغيرات الترانزستور تتعرض هى الاخرى بالمثل الى تغيرات مع الزمن ودرجة الحرارة . وبالرغم من ذلك فانه من الممكن الاعتماد على هذه الدائرة فى التشغيل وانها لتستخدم كمولد للموجة « المربعة » .

وسيلاحظ القارىء انحناء للأطراف المتقدمة لاشكال موجة الخرج [شكل ١٣ — ١١ [ب]] . ويمكن تحسين هذا الانحناء بعمل تعديلات فى الدائرة لتعطى موجة تكاد تقترب من الموجة المربعة المثالية ، وتحسن هذه التعديلات ايضا من امكانية الاعتماد على دقة توقيت الشكل الموجى .

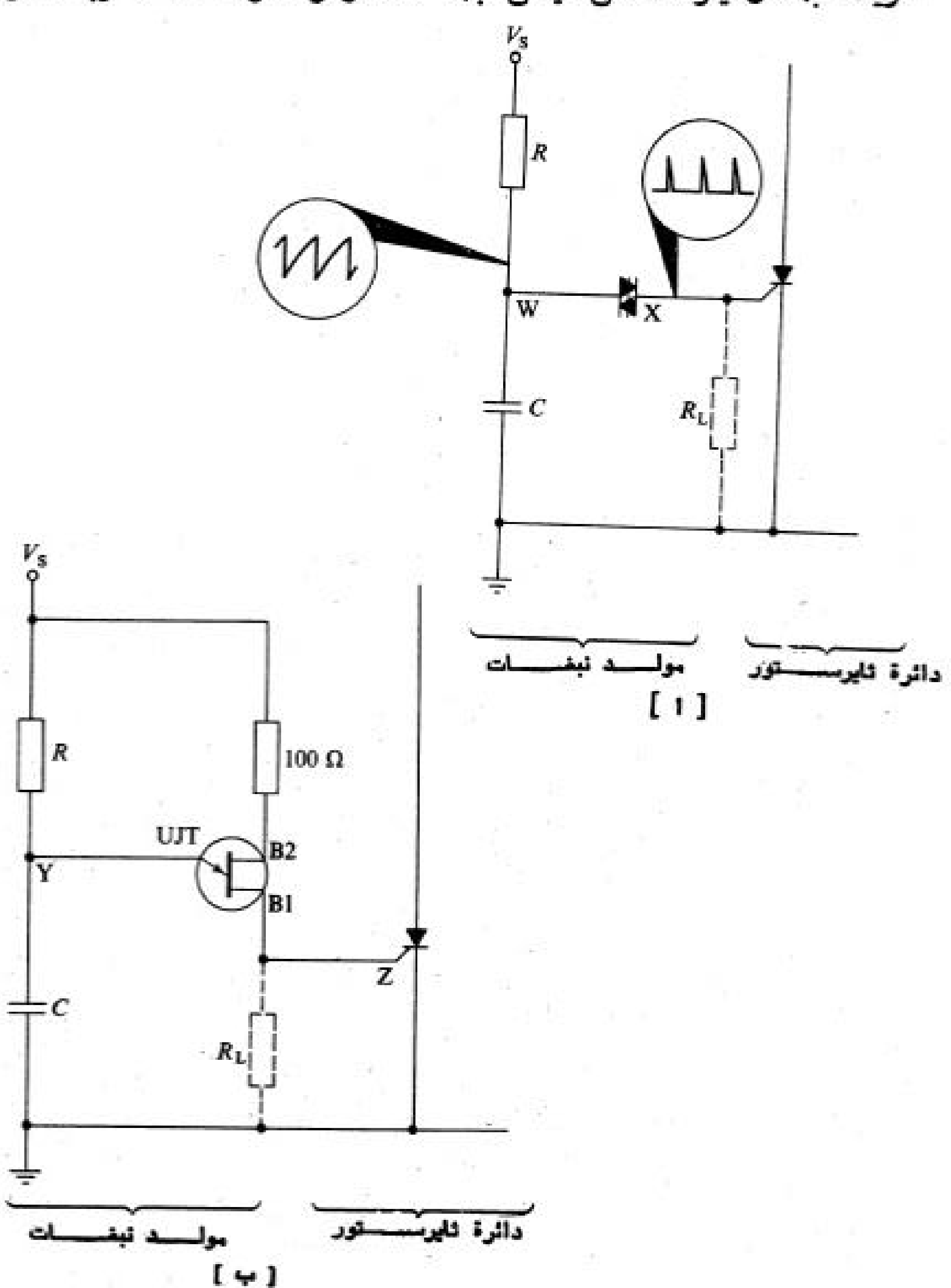
١٣ — ١١ مولـدات النبضـات

سنصف هنا دائرتين مناسبتين لتوليد نبضات لدوائر بوابة الثايرستور وتستخدم هاتين الدائرتين فى تطبيقات كثيرة ابتداء من مصـــــادر القدرة للتليفزيون الملون الى التحكم فى سرعة ماكينة الدلفنة . وتعتبر كلتا الدائرتين جزء من مجموعة كبيرة تعرف بمذبذبات التراخ ، التى تولد موجات غير جيبية عن طريق الشحن التدريجى للمكثف ثم تفريغه سريعا .

ويشحن المكثف فى كلتا الحالتين الموضحتين فى شكل ١٣ — ١٢ ، من مصدر الجهد V_S عن طريق المقاومة R . ويعطى هذا الجزء من الـــدائرة قسم الشحن التدريجى ، علما بأن تدريجى هى كلمة نسبية لان المكثف يمكن ان يشحن الى اقصى قيمة له فى S 0.0003 فقط ! ، وقد وصل بين طرفى المكثف دائرة مفتاح حساسة للجهد تشتمل على دايك فى الرسم التخطيطى [أ] وعلى ترانزستور احادى التوصيل (UJT) فى الرسم التخطيطى [ب] ويقوم المكثف بالتفريغ بسرعة [فى حوالى 10 µs مثل هذا النحو] أما فى بوابة الثايرستور ، كما هو موضح بالخط الممتلىء فى الرسوم التخطيطية ،

او فى مقاومة الحمل [مبينة بخط متقطع] . وسيوضح فيما يلى وصف مختصر لعمل هذه الدائرة .

ففى الحالة المبينة فى شكل ١٣ — ١٢ [أ] ، يجب ان تزيد قيمة جهـد المصدر دائما عن جهد انهيار الدايك V_{BR} . وبفرض ان المكثف C كان مفرغا فى البداية عند توصيل المصدر ، فان الجهد بين طرفى المكثف يبدأ فى الزيادة بمعدل يتوقف على قيمتى جهد المصدر والمقاومة R . وبعد قليل



شكل ١٣ — ١٢ دوائر مولد نبضات تستخدم [أ] دايك [ب] ترانزستور احادى التوصيل

من الوقت عادة بضعة وحدات من الميلي ثانية او اقل] ، يصل الجهد عند النقطة W الى جهد انهيار الدايك ، مولد نبضات .

وعندما يحدث هذا ، فسرعان ما يقوم الدايك بتفريغ جزء من الطاقة المخزونة فى المكثف فى بوابة الثايرستور ، مما يحول الثايرستور الى حالة التوصيل . وبمجرد ان يفرغ المكثف جزء من شحنته ، لن يستطيع جهد المكثف أن يحافظ على استمرارية حالة توصيل الدايك ، فيهبط تيار التفريغ للمكثف الى الصفر عندما يتحول الدايك الى حالة القطع بعدئذ يبدأ المكثف فى الشحن مرة اخرى وتتكرر هذه الدورة . وشكل الجهد الموجى عند النقطة W عبارة عن سن المنشار بزمن دورى يعادل الفترة الزمنية بين نبضتي تفريغ ويتخذ الشكل الموجى عند النقطة x شكل سلسلة من النبضات لها مدة بقاء بضعة وحدات من الميكروثانية وتصلح لاطلاق توصيل معظم انواع الثايرستور .

ويمكن استخدام دائرة الدايك فى شكل ١٣ — ١٢ [أ] مع مصدر جهد متردد ، وفى هذه الحالة ، تقوم أثناء النصف الموجب للاشكال الموجية لجهد المصدر بتوليد شكل موجى لسن المنشار ذى اتجاهية موجبة عند النقطة وسلسلة نبضات ذات اتجاهية موجبة عند النقطة x . أما فى أثناء النصف السالب للدورات فانها تولد اشكالا موجية لسن المنشار ولسلسلة من النبضات ذات الاتجاهية السالبة عند النقطة X, W على الترتيب . عندما يستخدم الدايك على هذا المنوال ، فانه يصبح ملائما لغرض التحكم فى الدايك [انظر الفصل الخامس عشر] المستخدم فى دائرة التيار المتردد .

وتعمل دائرة الترانزستور احادى التوصيل (UJT) المبينة فى شكل ١٣ — ١٢ [ب] بصفة عامة بأسلوب مماثل لدائرة الدايك ، وعند ارتفاع الجهد بين طرفى المكثف الى نقطة الجهد الذروى للترانزستور احادى التوصيل ، فسرعان ما تفرغ شحنة المكثف المختزنة فى بوابة الثايرستور . مرة اخرى تستغرق فترة التفريغ بضعة وحدات فقط من الميكروثانية . هذا ويعمل الترانزستور احادى التوصيل الموضح بالشكل على مصدر للجهد ذى قطبية موجبة ، ويقوم بتوليد اشكال موجية لسن المنشار والنبضات ذات اتجاهية موجبة عند النقطتين Y و Z على الترتيب .

الفصـــل الرابـع عشـــر

دوائـــر المـــكبر التشـــغيلى

١٤ ـ ١ ما هـو المـــكبر التشغيلى ؟

يختصر اسم المـــكبر التشـــغيلى فى اللغة الانجليزية الى .op — amp وببساطة هو مكبر خطى ذو تقارن مباشر ، له قيمة كسب جهـــد مرتفعة [عادة اكبر من 1000] .

قدمت من قبل ملاحظة مختصرة عن سمة من سمات المكبر التشغيلية تتضمن وجود طرفى دخل وعلامتى « + » و « — » فى الدائرة الرمزية بشكل ١٤ ـ ١ [أ] وتتعلق قطبية الاشارتين بعـــلاقات الطور بين كل اشارة دخل واشارة خرج ، كما هو موضح فى شكل ١٤ ـ ١ [ب] . اذ توضح هذه الرسوم أن طور آشارة الخرج يتفق تماما مـــع طور الاشارة المسلطة على الدخل [بالعلامة +] ، الذى يعرف بالدخل **الغير عاكسى** ، ويضاد الاشارة المسلطة على الدخل [بالعلامة « — »] ويعرف بالدخل العاكسى .

يوضح شـــكل ١٤ ـ ١ [ج] أكثر الـــدوائر التكاملية الخطية شيوعا وهو المكبر التشغيلى 741 . الذى يمكن التحصل عليه فى المجموعة ثنائية الخطوط ذات الثمانية اطراف . ويستخدم فى توصيل المكبر التشغيلى سبعة اطراف فقط من الثمانية حيث لا يستخدم طرف واحـــد منها . والدائرة التخطيطية للمكبر التشغيلى 741 معقدة حقا ، وقد سبق أن عرضت فى الفصل الثانى عشر [شكل ١٢ ـ ٩] .

وهناك سمة لا تدعو الى الارتياح لكثير من المكبرات التشغيلية تتمثل فى انســياق جهـــد الخرج عن قيمته ببطء مع الزمن ومع التغير فى درجة الحرارة . وينتج هذا لانسياق بوجه عـــام من التغيرات داخل المـــكبر ، ويؤدى الى جهد الازاحة الذى يظهر عند خرج المكبر . ومن الممكن معادلة جهد الازاحة هذا باليد بتوصيل مفرق RV كما هو موضح فى الرسم [د] ، حيث تنفذ عملية المعادلة بتسليط جهد قيمته صفر على كل من خطى دخل

الاشارة فى نفس الوقت ، ويضبط موضع منزلق الازاحة الصفرية حتى تقل قيمة جهد التيار المستمر عند خرج المكبر الى الصفر . وعند الاستعمال ، تدعو الحاجة لعملية المعادلة هذه على مجرد فترات متباعدة . وفى بعض الحالات ، يمكن حذف مفرق الازاحة الصفرية ، لكننا ننصح بالتشاور مع مصنعى المكبر التشغيلى اذا ما اتجهت النية الى ذلك .

وكسب الجهد عند الترددات المنخفضة للمكبر التشغيلى 741 مرتفع جدا حيث يبلغ حوالى 100 000 عند ترددات فى المدى من صفر [تيار مستمر] الى 10 Hz ، كما هو موضح بمنحنى الاستجابة للتردد فى شكل ١٤ ــ ١ [د] ، والى جوار هذه القيمة من التردد (10 Hz) ، ينقص الكسب بمعامل عشر مرات كلما زاد التردد بمعامل عشر مرات .

ويستمر هذا المعدل فى التدحرج مما يكافىء انخفاضا فى كسب الجهد مقداره 20 ديسيبل لكل وحدة عشرية من تغير التردد] الى اعلى حتى نصل الى تردد يقترب من 10HMz ، حيث يكون كسب الجهد قد انخفض الى حوالى 0.1 وبالقرب من هذه النقطة ، ينخفض الجهد بسرعة اكثر .

ومن الممكن خلال التشغيل ان تستخدم اطراف داخل واحد او كليهما ففى الدوائر البسيطة التى تحتاج استخدام طرف دخل واحد فقط ، يوصل الطرف الاخر بالدخل بالقاعدة المعدنية للمعدات [أو الى الخط الارضى] أما مباشرة او خلال مقاومة . وسنزيد القول عن ذلك فيما بعد .

مواصفات وحدتى مكبر تشغيلى تقليديتين . يعطى جدول ١٤ ــ ١ قيم المتغيرات الاكثر اهمية للمكبر التشغيلى 741 ، الذى يستخدم وحدات شاملة من ترانزستور ثنائى القطب ، وكذلك المتغيرات لطراز مشابه من المكبرات التشغيلية بوحدات ترانزستور التأثير المجالى عند الدخل .

جدول ١٤ ــ ١ الكميات المتغيرة القيمة المهمة لنوعى المكبر التشغيلى

	مكبر تشغيلى يستخدم ترانزستور التأثير المجالى	المكبر التشغيلى
مصادر الجهد	±6 V to ±18 V	±3 V to ±18 V
اقصى جهد تفاوت الدخل	30 V	30 V
مدى درجة حرارة التشغيل	0–70°C	0–70°C
فترة بقاء دائرة قصر الخرج	غير محدد	غير محدد
ادنى قيمة للحمل الموصل		
اقصى قدرة كلية مبددة	1000 Ω	200 Ω
تأرجح جهد الخرج	500 mW	500 mW
كسب الجهد عند الترددات المنخفضة	±10 V	±13 V
المقاومة بين طرفى الدخل	100 000	100 000
	10^{14} Ω	2×10^5 Ω

[أ]

[ب]

المجموعة ثنائية الخطوط ذات الثمانية اطراف ه

[جـ]

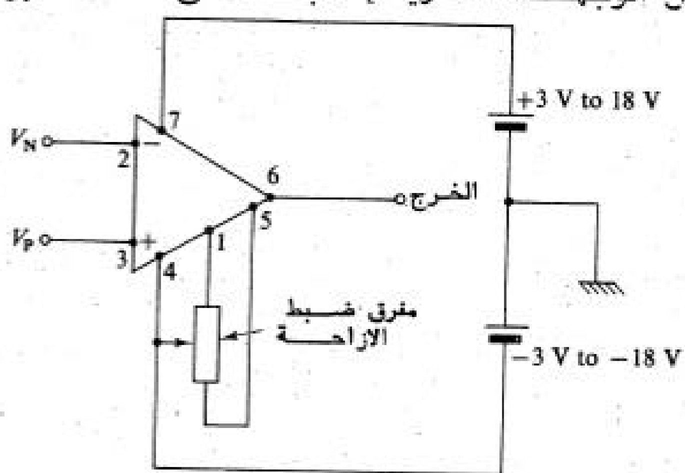
[د]

شكل ١٤ ــ ١ [أ] رمز الدائرة استخدام للمكبر [تشغيلى [ب] الاشكال الموجبـــة لكل من الدخل والخرج للاشارات الجيبية [جـ] مجموعة ثنائية الخطوط ذات الثمانية اطراف التى تحوى المكبر التشغيلى الشائع 741 وموضح عليه دائرة تعادل الازاحة و [د] منحنى الاستجابة للتردد للمكبر التشغيلى

ولسوف يلاحظ القارىء أن مدى جهد المصدر لهذين النوعين متفق بالتقريب. ويوضح شكل ١٤ — ٢ ترتيبة لدائرة مصدر تقليدية للمكبر التشغيلي 741 ومن الممكن التحصل تجاريا على مصادر قدرة خاصة لمكبرات الدوائر التكاملية الخطية لتعطى جهدى خرج احدهما بقطبية موجبة والاخر بقطبية سالبة ، يمكن ضبط قيمة كل منهما على حدة . وغالبا ما تضم هذه المصادر سمات كالتى توفر وقاية ضد قصر دوائر الخرج وضد تجاوز جهود الخرج [انظر ايضا الفصل الخامس عشر] .

وتصبح اشارة الدخل الكلية المسلطة على المكبر هى فرق الجهد بين V_P و V_N [انظر شكل ١٤ — ٨] وتعرف هذه الاشارة على انها **تفاوت جهد الدخل** . ونتيجة لذلك ، يعرف مثل هذا الطراز من المكبرات ايضا باسم **مكبر تفاوت الدخل** . وبالنسبة لكلا المكبرين التشغيليين المدرجين تؤمن الوقاية ضد دائرة القصر داخل المكبرات حتى لا تتلف عند حدوث دوائر قصر للارض عند خرج الاطراف .

وتمثل قيمة مقاومة الدخل بين طرفى الدخل متغيرا هاما الى حد ما وعلى وجه الخصوص عندما يستخدم المكبر التشغيلى مع مكامل الكترونى [انظر فصل ١٤ — ٨] . ولسوف يلاحظ القارىء أن قيمة مقاومة الدخل لدخل المكبر التشغيلى من نوع ترانزستور التأثير المجالى [انظر آخر سطر من جدول ١٤ — ١] تعادل حوالى الف مليون مرة مثيلتها للمكبر التشغيلى 741 ثنائى القطب . ولكى يتم تشغيل دائرة ما كأداة تكامل على وجه مرضى ، فانه يصبح من المرغوب فيه ان تتخذ مقاومة الدخل قيمة على اقصى درجة ممكنة من الارتفاع [يجب أن تساوى ما لانهاية من الوجهة النظرية] . بناء على ذلك ، تعتبر المكبرات



شكل ١٤ — ٢ توصيلات المصدر وتعادل الازاحة للمكبر التشغيلى 741 .

التشغيلية عند الدخل من طراز ترانزستور التأثير المجالى اكثر ملائمة فى استخدامات دوائر التكامل الالكترونية .

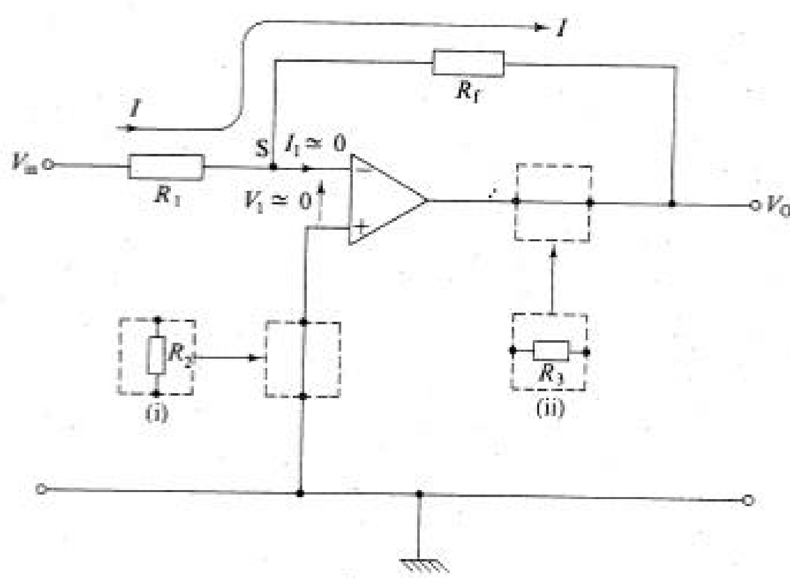
سيلاحظ القارىء ايضا القيمة المرتفعة جدا لكسب الجهد المصاحب لهذا النوع من المكبرات [فى العادة 100 000] . وهذه القيمة من كسب الجهد فى حد ذاتها تعتبر غالبا مرتفعة اكثر من اللازم . فعلى سبيل المثال ، اذا امكن استخدام هذه القيمة من الكسب ، فانه نظرا الى ان اقصى تأرجح لجهد

الخرج لمكبرات النوع 741 هو $\pm 13\ V$ ، فان اكبر قيمة يسمح بها لتأرجح جهد الدخل هى $\pm 13/10^5 = \pm 13 \times 10^{-5}\ V = \pm 0{\cdot}13\ mV$ او حوالى 0.1 V ج.م.م ومن الواضح جدا ، أن هذه القيمة لجهد الدخل تعتبر صغيرة للدرجة التى لا تصلح معها لاى استخدام . وفى التطبيق العملى ، تدعو الحاجة الى التعامل مع تأرجح فى الجهد بقيمة $\pm 10\ V$ او اكثر . وللتكيف مع هذه القيم العالية لتأرجح الجهد ، يصبح ضروريا تضمين مكبرات تشغيلية داخل حلقات تغذية مرتدة سالبة ، حيث تؤدى الى انقاص كسب الجهد للمكبر الى قيمة اكثر واقعية . ستتم مناقشة دوائر التغذية المرتدة بالاستعانة بالمكبرات التشغيلية فى هذا الفصل .

١٤ ــ ٢ المكبر العاكس أو مغير الاشارة

يوضح شكل ١٤ ــ ٣ دائرة يعم استخدامها فى علم الالكترونيات هى المكبر العاكس سيلاحظ القارىء عند مقارنة هذه الدائرة بالدائرة المبينة فى شكل ١٣ ــ ٢ [ب] انها تستخدم تغذية مرتدة بجهد سالب على التوازى وان مقاومة اضافية R_1 قد استخدمت فى شكل ١٤ ــ ٣ . وعند استخدام مكبر تشغيلى يكسب جهد فى حدود 100 000 ، فان جهدا V_1 لا تتعدى قيمته 0.0001 V فقط يلزم تسليطه على دخل المكبر لكى يعطى جهد خرج قيمته 10 V ومن الناحية الواقعية ، تقترب قيمة هذا الجهد الى حد كبير من الصفر ، مما ينتج عنه أن يرجع الى الوصلة S فى شكل ١٤ ــ ٣ **كنقطة ارض افتراضية** . وحيث ان قيمة V_1 صغيرة جدا ، فان قيمة التيار I_1 الذى ينساب الى داخل المكبر تصبح صغيرة جدا فى الواقع ، وبذا يمكن اعتبار قيمته مساوية للصفر . والان ، حيث أن $V_1 \simeq 0$ ، فانه تبعا لذلك تصبح قيمة التيار I المنساب فى المقاومة R هى

$$I = \frac{V_{in} - V_1}{R_1} \simeq \frac{V_{in}}{R_1}$$



شكل ١٤ ــ ٣ مكبر عاكس مسلط عليه تغذية مرتدة سالبة للجهد وعلى التوازى .

حيث ان $I_1 = 0$ ، فانه عندما يصل التيار الى الوصلة S فانه ينساب خلال المقاومة R_f ، ومن ثم

$$I = \frac{V_1 - V_O}{R_f} \simeq -\frac{V_O}{R_f} \qquad [٢ - ١٤]$$

وحيث ان قيمة كلا التيارين فى المعادلتين السابقتين متساوية ، فان

$$-\frac{V_O}{R_f} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

لذا يصبح كسب الجهد A_{vf} لمكبر التغذية المرتدة فى شكل ١٤ — ٣ هو

$$A_{vf} = \frac{V_O}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1}$$

وتعنى الاشارة السالبة فى المعادلة السابقة أن المكبر عاكس للطور . وتبلغ القيمة الملائمة للمقاومة R_f حوالى $10\ k\Omega$ علما بأن $1\ M\Omega$ تمثل رقما لقيمة قصوى مألوفة .

وفى بعض التطبيقات ، وجد انه اذا زادت قيمة R_f عن $10\ M\Omega$ فان جهد الخرج يصبح متذبذبا . ويمكن معادلة هذا التذبذب بتوصيل مكثف سعته حوالى $100\ pF$ على التوازى . R_f فاذا كانت $R_1 = 10\ k\Omega$ و $R_f = 100\ k\Omega$ فان كسب الجهد للمكبر يصبح

$$A_{vf} = -\frac{R_f}{R_1} = -\frac{100}{10} = -10$$

بمعنى انه ، اذا كانت $V_{in} = +0.5\ V$ ، فان $V_O = (-10) \times 5 = -5\ V$ فاذا سلط جهد جيبى متغير قيمته **0.5 V** ج.م.م الى دخل مكبر التغذية المرتدة فان جهد الخرج بالمثل جيبيا وبقيمة **5 V** ج.م.م وتصبح زاوية الطور بينه وبين الاشارة المسلطة مساوية لـ **180°** .

ومن المكن التنبؤ بعرض النطاق الترددى لمكبر التغذية المرتدة [اى نطاق الترددات التى تكبر بقيمة منتظمة] من منطلق حقيقة ان حاصل ضرب الكسب وعرض النطاق لمكبر التغذية المرتدة هو مقدار ثابت. فعند تردد قيمته **10 Hz** ، تكون قيمة الكسب **100 000** ، وحاصل ضرب الكسب فى عرض النطاق الترددى للمكبر هو

$$10 \times 100\,000 = 1\,000\,000 = 10^6$$

فاذا انخفض الكسب بمقدار **10** كنتيجة لتسليط التغذية المرتدة ، فان عرض النطاق الترددى يصبح

عرض النطاق الترددى $= 10^6/A_{vf} = 10^6/10 = 10^5\ Hz$ او $100\ kHz$

طريقة معادلة الانسياق الحرارى بعد تشغيل المكبر لفترة قصيرة وجد أن تغيرات طفيفة تحدث فى جهد الخرج بسبب التأثيرات الحرارية وفى

احدى الطرق المستخدمة لتقليل الانسياق الناتج عن هذه التأثيرات توضـــع مقاومة R_2 على التوالى مع طرف الدخل الغير عاكسى والموضح داخل الموضع (i) فى شكل ١٤ ــ ٣ .

ويمكن شرح السبب فى استخـــــدام هذه المقــاومة كما يلى . لنفترض ان خط الدخل الغير عاكسى قد وصل للارض مباشرة ، كما هو موضح بالشكل وان قيمة الجهد Vin تساوى الصفر اى انها موصلة بالارض . وتحت هذه الظروف ، يتسرب قدر ضئيل من التيار من كلا طرفى دخل المكبر ، فيمر التيار الخارج من طرف الدخل الغير عاكسى مباشرة الى الارض ، بينما ينقسم التيار الخارج من الدخل العاكسى بين المقاومتين R_1 و R_f ويبدأ جهد صغير بين طرفى الدخل فى الظهور بالرغم من أن قيمة V_{in} تساوى الصفر نتيجة للتيار خلال R_1 و R_f ، وتؤدى هذه القيمة من الجهد الى جهد خرج يتغير مع درجة الحرارة .

ويقلل هذا التأثير لادنى حد ممكن بوضع المقاومة R_2 ، والتى تعرف باسم **المقاومة المعادلة لانسياق التيار** ، على التوالى مع خط الدخل الغير عاكسى ومن اللازم أن تكافىء قيمة المقاومة R_2 كهربائيا مجموعة التوازى R_1 و R_f . أى أن

$$R_2 = R_1 R_f/(R_1 + R_f)$$

فاذا كانت $R_1 = 10\ k\Omega$ و $R_f = 100\ k\Omega$ ، فان

$$R_2 = 10 \times 100/(10 + 100) = 9{\cdot}09\ k\Omega$$

وتحتوى المعدات المتخصصة على هذه المقاومة ، ولكن يمكن حذفها من الدائرة البسيطة . وعندما توجد ضمن الدائرة ، فلن تؤثر على كسب جهد المـــكبر .

الوقاية ضد حدوث قصر : يبنى داخليا فى كثير من المكبرات التشغيلية دوائر وقائية ضد تيارات القصر عند الخرج ، ولكن بعضا منها لا يمتلك هذه الميزة . وفى هذه الحالة يفضل توصيل مقاومة R_3 على التوالي مع خط الخرج في الموضع (ii) من شكل ١٤ ــ ٣ . وتبلغ القيمة الملائمة للمقاومة R_3 حوالى $47\,\Omega$.

١٤ ــ ٣ مكــبر جمـــــع

يوضح شكل ١٤ ــ ٤ دائرة مكبر بسيطة يمكن أن تجمع عدة اشارات مع بعضها البعض ويعطى جهد الخرج لهذا المكبر بالمعادلة التالية :

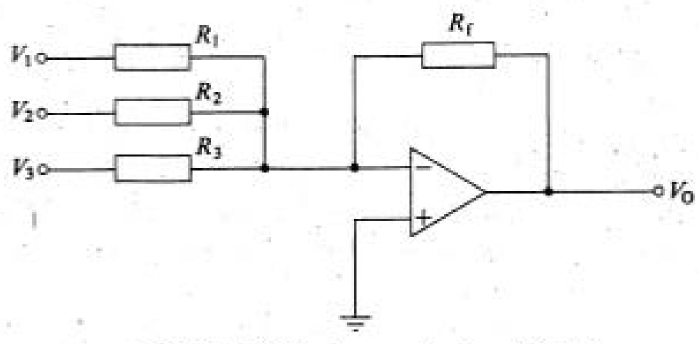
$$V_O = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$

فمثلا ، اذا كانت $R_f = 100\ k\Omega,\ R_1 = 10\ k\Omega,\ R_2 = 47\ k\Omega,\ R_3 = 100\ k\Omega$

$V_1 = +1{\cdot}5\ V,\ V_2 = -2\ V$ و $V_3 = 0{\cdot}5\ V$ ، فان

$$V_O = -\left(\left[\frac{100}{10} \times 1{\cdot}5\right] + \left[\frac{100}{47} \times (-2)\right] + \left[\frac{100}{100} \times 0{\cdot}5\right]\right)$$
$$= -(15 + (-4{\cdot}26) + 0{\cdot}5) = -11{\cdot}24 \text{ V}$$

ومن الممكن استخدام هذا النوع من المكبرات ، مثلا ، فى وحدة خلط التردد السمعى التى تخلط بها اشارات من ثلاث مصادر مثل الميكرفون ، وجهاز التسجيل والقيثارة .



شكل ١٤ ــ ٤ مكبر جمع او دائرة اضافة للجهد

وكما فى حالة المكبر العاكسى الاساسى ، يمكن تهيئة التعادل الحرارى بتوصيل مقاومة على التوالى مع خط الدخل الغير عاكس . ويجب ان تساوى قيمة هذه المقاومة مجموعة التوازى المكونة من R_1 و R_2 و R_3 و R_f . فى الحالة السابقة ، يجب ان تكون قيمتها حوالى $7{\cdot}1\ \text{k}\Omega$

١٤ ــ ٤ دائـــرة تابعـــة الجهـــد

تحتاج تطبيقات كثيرة الى دائرة بالخواص التالية ،

[أ] يجب ان يكون الكسب بقيمة الوحدة .

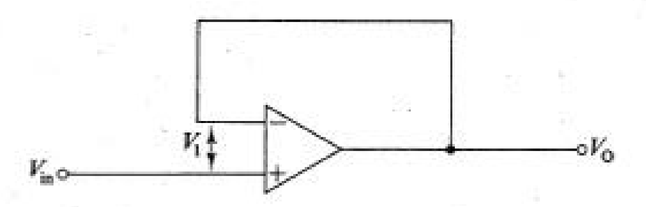
[ب] يجب ان تكون غير عاكسة .

[جـ] يجب ان تكون مقاومة الدخل مرتفعة .

[د] يجب ان تكون مقاومة الخرج منخفضة .

يوضح شكل ١٤ ــ ٥ مكبر تغذية مرتدة يحقق كل هذه المتطلبات ويمكن التحصل على هذه السمات بتسليط 100% تغذية مرتدة للجهد الســالب وعلى التوالى مع دخل المكبر . بمعنى ان ، يغذى V_O خلفيا مباشرة الى الدخل العاكسى للمكبر التشغيلى . وهى فى الحقيقة ، تعتبر صورة اخرى محسنة لدوائر تابع الباعث والمصدر السابق توضيحها فى الفصل الثالث عشر . ويستخدم هذا النوع من المكبرات كمكبر صاد بين مصــدر اشارة ذى معاوقة خرج مرتفعة وحمل ذى معاوقة دخل منخفضة . وتمثل المعاوقة

المرتفعة لدائرة تابع الجهد حملا كهربائيا خفيفا بالنسبة لمصدر الاشارة ولها معاوقة خرج منخفضة انخفاضا كافيا [عادة جزء من الاوم] لكى تدفع تياراً بقيمة كبيرة نسبيا [اى كبيرة طبقا للمقاييس الالكترونية] الى الحمل .



شكل ١٤ ــ ٥ مكبر صاد غير عاكس قيمة كسبه تعادل الوحدة .

ومن الممكن استنتاج سبب كون كسب جهد المكبر مساويا للوحدة من الدائرة فى شكل ١٤ ــ ٥ كما يلى . حيث أن الكسب للمكبر التشغيلى نفسه مرتفع جدا ، فيكون قيمة الجهد V_1 بين طرفى الدخل من الناحية الواقعية مساوية للصفر . فيتساوى الجهد عند طرفى الدخل فى هذه الحالة، اى ان

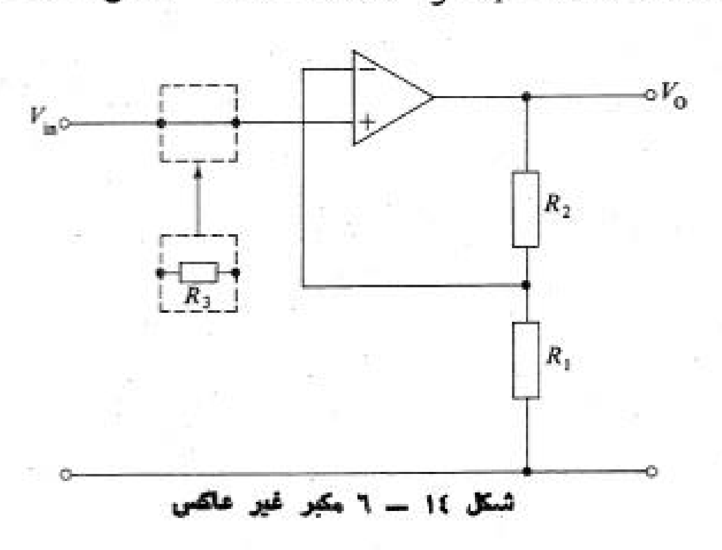
$$V_O = V_{in} \quad \text{او} \quad V_O/V_{in} = 1$$

١٤ ــ ٥ المكـــبر الغـــير عاكس

يسلط على الدائرة فى شكل ١٤ ــ ٦ تغذية مرتدة لجهد سالب وعلى التوالى عن طريق شبكة β المكونة من R_1 و R_2 . وفى هذه الحالة ، تسلط الاشارة على طرف الدخل الغير عاكسى فيصبح طور اشارة الخرج الناتجة متفقا مع V_{in} . ويعطى كسب الجهد لهذا المكبر بالتعبير الاتى :

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

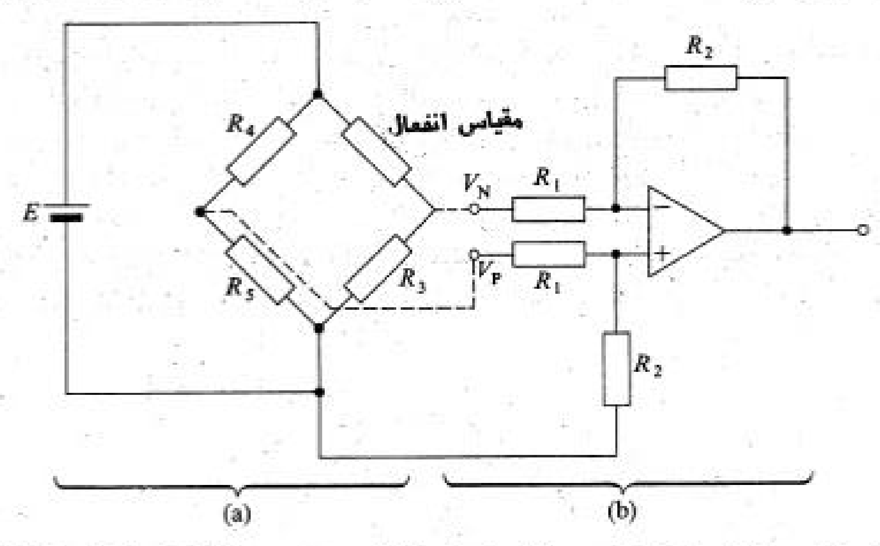
فاذا كانت $R_1 = 1\ \text{k}\Omega$ و $R_2 = 10\ \text{k}\Omega$ ، فان $A_{vf} = 1 + 10/1 = 11$



شكل ١٤ ــ ٦ مكبر غير عاكس

١٤ ــ ٦   مكبر تفاضلى أو مكبر فرقى

فى بعض التطبيقات ، يكون من اللازم تكبير اشارة صغيرة جدا فى وجود اشارة اخرى كبيرة وغير مرغوب فيها . ومن ضمن التطبيقات المألوفة لهذا النوع من المكبرات قنطرة مقياس الانفعال من النوع الموضح فى شكل ١٤ ــ ٧ [أ] . مقياس الانفعال هو نبيطة تستخدم لقياس الانفعالات الميكانيكية فى الانشاءات تحت الاختبار ، كما فى الطائرة او فى الصاروخ .



شكل ١٤ ــ ٧ [أ] تطبيق مألوف لمكبر تفاضلى و [ب] شكل شائع لدائرة مكبر تفاضلى .

يتكون مقياس الجهد من شبكة ذات اسلاك دقيقة فوق ورقة دعم ملصقة على القطعة تحت الاختبار، ويقاس الانفعال بتحديد التغير فى مقاومة المقياس عند تحميل القطعة ميكانيكيا . ويوصل المقياس بدائرة القنطرة كما فى شكل ١٤ ــ ٧ [أ] ، وتصبح القنطرة متزنة فى حالة اللاحمل بحيث تتساوى قيمة الجهدين V_N و V_P وعند تسليط حمل ميكانيكى ، تتغير مقاومة مقياس الانفعال وتؤدى الى ظهور جهد فى حدود بضعة وحدات من الملى فولت بين V_N و V_P . وبهذه الطريقة يمكن قياس جهد صغير جدا .

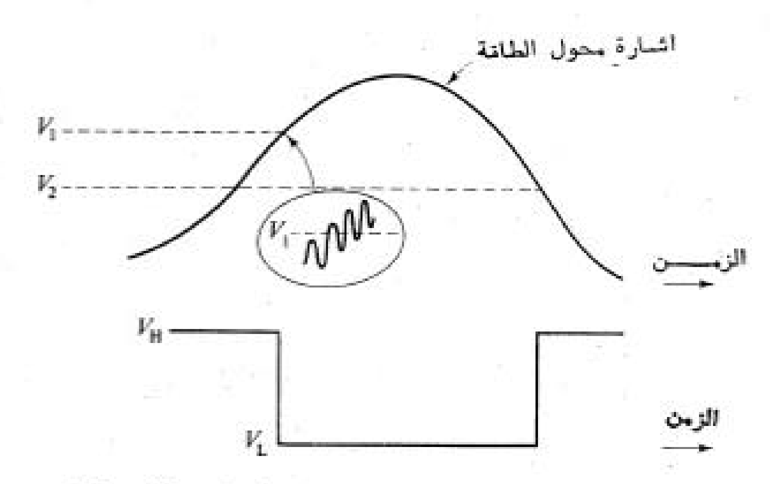
يوضح شكل ١٤ ــ ٧ [ب] الشكل الشائع للمكبر المستخدم فى هذا النوع من التطبيقات ، وهو يستخدم تغذية مرتدة سالبة على التوازى من الخرج الى الدخل العاكس . ويكون الدخل الفعال للمكبر هو $V_P - V_N$ ، ويصبح كسب الجهد للمكبر

$$A_{vf} = \frac{\text{جهد الخرج}}{\text{الفرق بين } V_P \text{ و } V_N} = \frac{V_O}{V_P - V_N} = \frac{R_2}{R_1}$$

فاذا كانت $R_2 = 100\ \text{k}\Omega$ و $R_1 = 10\ \text{k}\Omega$ ، فان $A_{vf} = 10$

١٤ ــ ٧ مقـــارن الجهـد

تختلف الكميات المقاسة لكثير من محولات الطاقة فى الصناعة بمعدل بطىء جدا كما يحدث ، على سبيل المثال ، لاشارة من محول للطاقة يقيس ارتفاع المـاء فى خزان كبير . وتدعو الحاجة هنا فى الغالب الى دائرة كهربائية يتغير خرجها بحدة عندما يصل منسوب هذه الاشارة الى قيمة معينة سبق تحديدها . فالمقارن هو نبطية يتغير جهد خرجها بحدة من قيمة الى قيمة اخرى عندما يرتفع منسوب الاشارة الى حد معين ، وتعود بحدة الى قيمتها الاصلية عندما يهبط منسوب اشارة الدخل الى قيمة اقل قليلا ، فاذا سلطت اشارة محول الطاقة فى شكل ١٤ ــ ٨ الى المقارن فسرعان ما يتغير جهد خـــرج المقارن من V_H الى V_L عندما تبلغ اشارة محول الطاقة قيمة تساوى V_1 ، وترد هذه القيمة مرة اخرى الى V_H عندما تهبط قيمة اشارة محول الطاقة الى V_2 ويعرف فرق الجهد $| V_1 - V_2 |$ على منسوب جهد الدخل **بالجهد التخلفى أو بجهد التفويت للمقارن** ، ويتواجد جهد التفويت بالمقارنات الصناعية وذلك للسبب التالى. تحتوى اشارات محولات الطاقة فى الغالب على تشويش

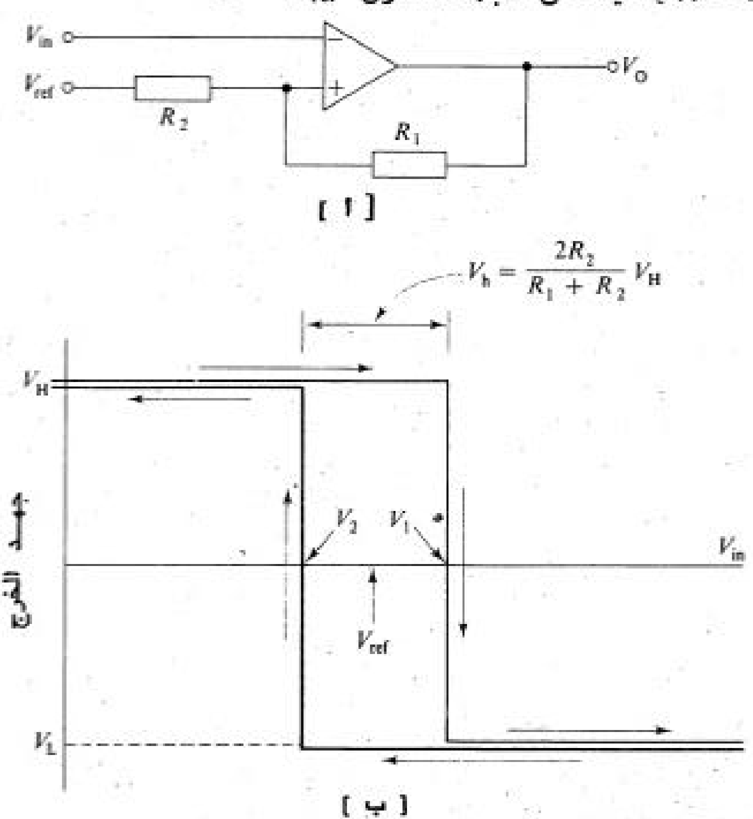


شكل ١٤ ــ ٨ الاشكال الموجية لدخل وخرج المقـــارن .

كهربائى من الممكن ان يستحث بواسطة مصادر التيار المتردد بالقرب من محولات الطاقة او بواسطة عمليات القطع والتوصيل فى الاجهزة المجاورة لها . . . الخ . وقد وضع هذا التشويش بالجزء المضمن من شكل ١٤ ــ ٨ . فان لم يمتلك المحول هذا التفويت ، لادى أى تشويش مركب مع اشارة محول الطاقة الى تذبذب سريع لاشارة خرج المقارن بين V_L و V_H ومع تفويت كاف فى خواص المقارن ، يمنع وقوع هذا التذبذب وتعطى الـــدائرة درجة من **الحصانة ضـــد الضوضاء .**

يوضح شكل ١٤ ــ ٩ [أ] احدى صور الاشكال الشائعة للمقارن وهى دائرة شميث للاطلاق . تستخدم هذه الدائرة تغذية مرتدة موجبة عن طريق المقاومة R_1 ، ليس فقط لتحسين سرعة العمليات وانما ايضا لتقدمة التأثير التخلفى . وفى العادة ، تزيد قيمة R_1 كثيرا عن قيمة المقاومة R_2 وتعطى

جهد اطلاق علوى [V_1 فى شكل ١٤ ـــ ٨] اكبر قليلا من الجهد المقارن V_{ref} فى شكل ١٤ ـــ ٩ [أ] . ويقل جهد الاطلاق السفلى [V_2 فى شكل ١٤ ـــ ٨] قليلا عن الجهد المقارن V_{ref} .



شكل ١٤ ـــ ٩ دائرة شميت للاطلاق أو مقارن اعادة توليد الجهد .

يوضح شكل ١٤ ـــ ٩ [ب] المنحنى المميز فى حالة القطبية الموجبة للجهد المقارن . ويتخذ خرج الجهد أقصى قيمة موجبة له V_H، عندما تقل القيمة المطلقة لجهد الدخل V_{in} عن V_1 ، علما بأن قيمة V_H تعتمد على قيمة جهد مصدر القدرة وعلى المكبر التشغيلى المستخدم . وتؤدى زيادة قيمة الجهد V_{in} عن قيمة الجهد V_1 الى تغير فجائى لجهد الخرج هى اقصى قيمة سالبة له اى V_2 [انظر شكل ١٤ ـــ ٩ [ب]] . ويظل منسوب جهد المقارن عند هذه القيمة طالما ان قيمة اشارة الدخل اكبر من V_1 . وعند انقاص جهد الدخل الى V_2 ، يرتد جهد الخرج فجأة الى قيمته الاصلية V_H مرة اخرى .
واذا تساوت قيم كل من V_H و V_L فان قيمة جهد التخلف تعطى كالاتى :

$$V_h = V_1 - V_2 \simeq 2R_2V_H/(R_1 + R_2)$$

وهكذا ، اذا كان $V_H = 10\ V$ و $R_1 = 9{\cdot}9\ k\Omega$ و $R_2 = 0{\cdot}1\ k\Omega$ فان

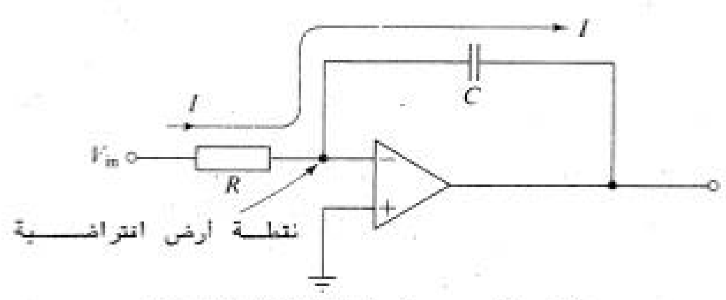
$$V_h = 2 \times 0{\cdot}1 \times 10/(9{\cdot}9 + 0{\cdot}1) = 0{\cdot}2\ V$$

١٤ ــ ٨ دوائـــر التكـــامل الالكـــترونية

لقد سبق وصف الوظيفة التى تؤديها الدائرة التكاملية فى الفصل الثالث . وسيكون من الملائم للقارىء أن نعيد هنا هذا الوصف .

فى الدائرة المكاملة ، تتناسب القيمة اللحظية لمعدل تغير اشارة الخرج من المكامل مع سعة اشارة الدخل .

لنأخذ فى الإعتبار عمل الدائرة فى شكل ١٤ ــ ١٠ . فى هذه الدائرة ، تسلط تغذية مرتدة سالبة من الخرج الى طرف الدخل العاكس عن طريق المكثف C .



شكل ١٤ ــ ١٠ دائرة تكاملية الكترونية

وبما ان طرف الدخل العاكس يعتبر نقطة ارضية افتراضية ، فان كل التيار المنساب فى مقاومة الدخل R يجب ان يمر ايضا خلال المكثف C . فاذا اتخذ الجهد V_{in} قيمة ثابتة ، فان $I = V_{in}/R$ ، ويتخذ ايضا قيمة ثابتة . ومما سبق عرضه فى الفصل الثالث عن المكثف . سيتذكر القـــارىء أن

تيار المكثف = C × معدل تغير جهد المكثف

ومن ثم فان

$$I = \frac{V_{in}}{R} = C \times \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

وهكذا يصبح

$$\text{معدل تغير جهد المكثف} = \frac{V_{in}}{RC}$$

وحيث ان من المفروض أن يكون لوح المكثف عند جهد الارض ، فان معدل تغير الجهد بين طرفى المكثف يساوى معدل جهد الخرج . لذا فان

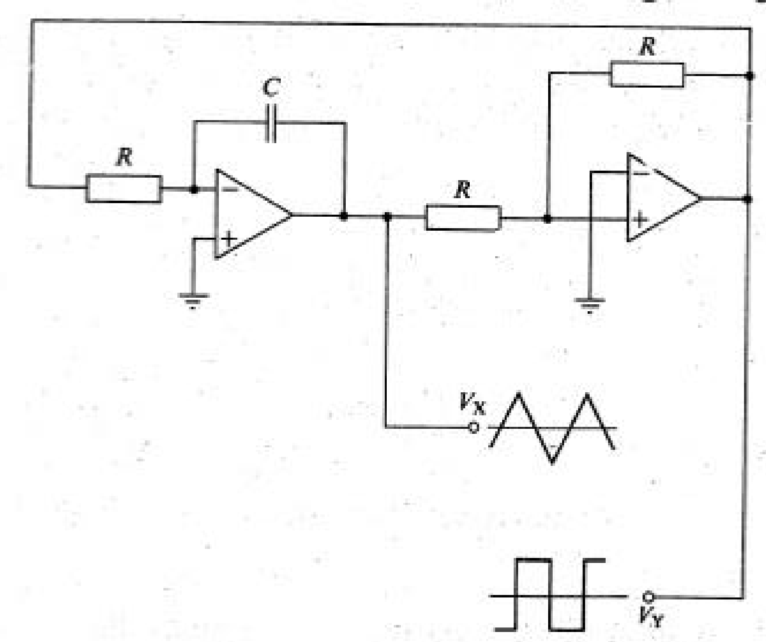
$$\text{معدل تغير جهد الخرج} = \frac{V_{in}}{RC}$$

وتملى العلاقة السابقة انه اذا كانت قيمة V_{in} ثابتة ، فان V_0 يتغير بمعدل ثابت . وبمقارنة هذه العبارة بوصف الوظيفة التى يؤديها المكامل ، نرى أن الدائرة فى شكل (١٤ ــ ١٠) تؤدى وظيفة المكامل .

وحيث ان الاشارة تسلط على طرفي الدخل العاكس ، فانه اذا اتخذ الجهد V_{in} قطبية موجبة ، تصبح قطبية V_O بصفة تدريجية أكثر سالبة . أما اذا اتخذ الجهد V_{in} قطبية سالبة ، فان قطبية V_O تصبح بصفة تدريجية اكثر ايجابية .

ومن ضمن سمات الدائرة المكاملة وهى انه اذا انتقص جهــد الدخل فجأة الى الصفر ، فانه تبعا للوصف السابق للمكامل ينتقص معدل تغير جهــد الخرج ايضا الى الصفر . بمعنى أن جهد الخرج قد ربط على قيمة ثابتة طالما ظلت قيمة جهد الدخل عند الصفر . ومن الممكن تحقيق الحالة المثالية السابقة فقط اذا لم تتسرب الشحنة بعيدة عن المكثف . ولمنع هذا من الحدوث ، يجب ان تكون المقاومة الداخلية للمكبر التشغيلي مرتفعة جدا ، وانه لمن أجل هذا السبب ، يفضل المكبر التشغيلي الذى يستخدم عند الدخل ترانزستور التأثير المجالى (FET) عن النبائط الاخرى التى تستعمل ، عند الدخل ، وحدات ترانزستور ثنائية القطب ، مثل المكبر التشغيلى 741 [انظر الجدول ٤ ــ ١ والمناقشة المصاحبة له] .

تستخدم المكاملات بكثرة فى نظم الالكترونية التى تولد انواعا خاصة من الاشكال الموجية لغرض اختبار المعدات . ويوضح شكل ١٤ ــ ١١ تطبيقا منهذاالنوع. اذ يسلط فىهذه الحالة جهد الخرج V_X منمكامل منهذا النوع السابق وصفه الى مقارن الجهد . وتقارن ترتيبة التغذية المرتدة فى الدائرة



شكل ١٤ ــ ١١ مذبذب لديه القدرة لتوليد كل من الموجة المربعة والموجة المثلثة .

الاخيرة قيمة V_X عند مدخل المقارن مع جهد خرج المقارن V_Y . وعندما تكون قطبية V_Y سالبة تؤول قطبية جهد الخرج المكامل ، بصفة منتظمة الى ان تصبح أكثر ايجابية . ويستمر الارتفاع فى هذا الجهد طالما قلت قيمة V_X عند قيمة V_Y . وعندما تزيد قيمة V_X قلايلا عن قيمة V_Y تصبح قطبية جهد الخرج المقارن فجأة موجبة . ويؤدى هذا الى ان يبدأ جهد الخرج من دائرة

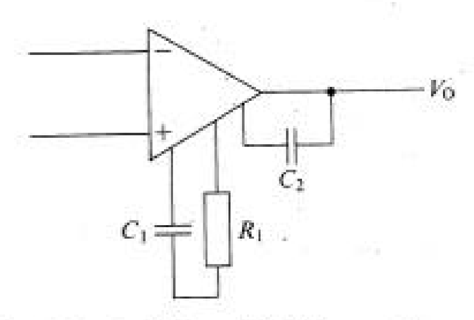
المكامل فى الانخفاض ، محطيا ، بمعدل ثابت حتى تصبح فى النهاية سالبة . مرة اخرى ، عندما تزيد قيمة جهد الخرج من المكامل قليلا عن قيمة V_Y ، فان قطبية جهد المقـــارن تنعكس بحده مرة اخرى . تستمر هذه العملية بدون حدود لتعطى شكلا موجبا مثلثا عند الخرج V_X وشكلا موجبا سريعا عند V_Y

وتستخدم المذبذبات من النوع الموضح سابقا لتوليد اشارات فى المدى الترددى من دورة واحدة لكل بضعة دقائق حوالى 1 MHz . وباستخدام دائرة الكترونية ، يمكن تحويل الموجة المثلثة التى ما يكاد يقترب من الموجة الجيبية المثالية .

١٤ ــ ٩ معــادلة التــردد للمكــبرات التشــغيلية

لقد تم تصميم الدوائر التى وضعت حتى الان وفى اذهاننا المكبر التشغيلى الاساسى 741 . ولهذا النوع من المكبرات بعض أوجه القصور ، ولهذا السبب تستعمل بالمثل انواع اخرى من المكبرات التشغيلية ، وفى بعض الاحيان ، قد يتذبذب جهد الخرج من هذه المكبرات مالم توصل اليها دوائر المعادلة [أو تعويض] التردد لهذه المكبرات . وان لمن وظيفة هذه الدوائر مع التغذية المرتدة الموجبة من أن تسلط دون قصد عند ترددات التشغيل العالية .

وتبنى دوائر معادلة التردد فى الدائرة التكاملية لمكبر التشــغيل 741 ولا تدعو الحاجة لاى مكونات خارجية . ويوضح شكل ١٤ ــ ١٢ العناصر المعتادة لتعويض التردد والمستخدمة مع الانواع الاخرى للمكبرات التشغيلية.



شكل ١٤ ــ ١٢ معــاولة التردد للمكبرات التشغيلية .

هذا وتدعو الحاجة المكثف C_1 والمقاومة R_1 لمعادلة التردد عند نقطة مبكرة للمكبر ويهيىء المكثف C_2 تعويضا للتردد من الخرج . وتقــع قيم C_1 و R_1 عادة فى المدى من 10 pF الى 10 nF ومن صفر الى 1·5 kΩ ، على الترتيب ، وتقع قيمة المكثف C_2 فى المدى من 3 pF الى 200 pF . ويجب الاطلاع على ما يصدر عن المصنعين لهذه النبائط عند تنفيذ دوائر باستخدام المكبرات التشغيلية التى تحتاج الى معادلة التردد .

الفصل الخامس عشر

مصادر القدرة ثابتة الجهد والالكترونيات القوى الكهربائية

فى هذا الفصل ، سيقابل القارىء حدى احتياجات نظم القوى الكهربائية التى تتراوح من الدوائر التى تعطى مصادر ذات درجة استقرار مرتفعة وتيار فى حدود بضعة من وحدات الميلى امبير الى النظم المتينة للقوى الكهربائية العالية والتى لديها امكانيات للتعامل مع قدرات تصل الى عدة وحدات من الميجاوات .

١٥ ـ ١ الحاجة الى مصادر قدرة ذات جهد ثابت :

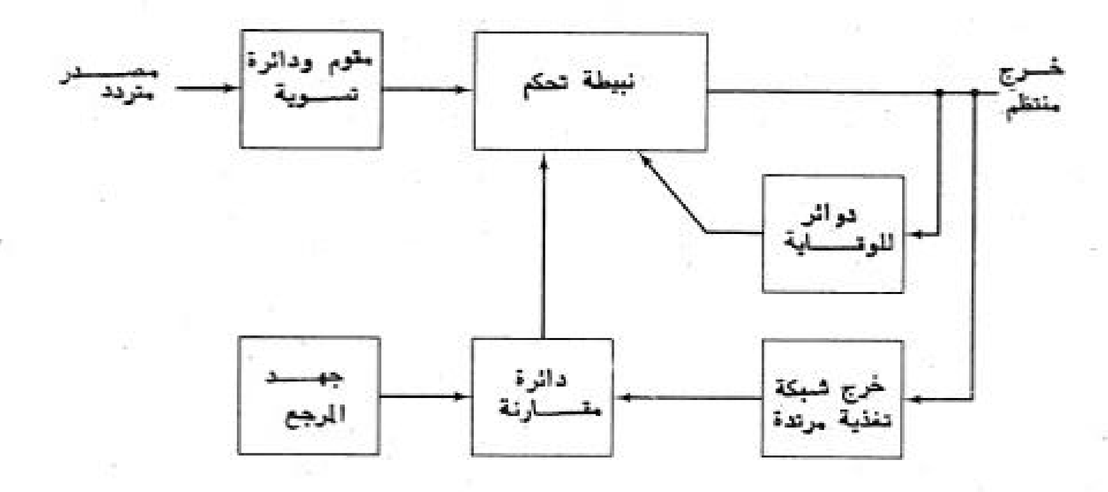
مصدر القدرة ثابت الجهد هو المصدر الذى يعطى خرجا ثابتا [عادة فولت] بدون تموجات ، والذى لا يتغير خرجه عند تغير جهد المصدر فى مدى يبلغ حوالى ± 10 . ويجب أن لا يعتمد خرجه ايضا على التغير فى مقاومة الحمل على مدى قيم الحمل العادية للمعدات . وعلاوة على ذلك ، تتضمن مصادر قدرة كثيرة أجهزة الكترونية للوقاية من تجاوز التيار والتى تستجيب فى حدود عدد قليل من وحدات الميكروثانية من حدوث العطل ، كما تحتوى أيضا على دوائر تمنع الجهد من التسلط على الحمل الموصل . وهذه الدوائر التى ذكرت تعتبر هامة اذا احتوى الحمل دوائر تكاملية .

وكمثال لاستخدام مصدر القدرة ثابت الجهد ، ينبغى ان يظل مصدر التغذية الى بعض اجزاء أجهزة التليفزيون الملون ثابت الجهد ، والا ادت التغيرات فى مصدر الجهد الى تغير فى الوان الصورة . وتستخدم مصادر القدرة ثابتة الجهد ايضا بكثرة فى الاجهزة المعملية الالكترونية .

١٥ ـ ٢ فكرة عمل منظم التوالى للجهد

يوضح شكل ١٥ ـ ١ الشكل التخطيطى الاجمالى لمراحل منظم التوالى الذى يعتبر اكثر صور منظم الجهد الالكترونى شيوعا . فى هذه الدائرة ، يقوم أولا المصدر المتردد ويسوى قبل تسليطه على نبيطة التحكم والحمل .

وتشارك نبطية التحكم [التى تكون عادة من الترانزستور] والحمل ، مصدر التيار المستمر المسوى مع بعضهما البعض ، وتعمل نبطية التحكم بطريقة معينة بحيث تحافظ على الجهد ثابتا بين طرفى الحمل . وتعمل هذه النبيطة بالطريقة الاتية : حيث أن نبيطة التحكم تشارك الحمل بالنسبة لمصدر الجهد،



شكل ١٥ ــ ١ شكل تخطيطى لمراحل منظم توالى

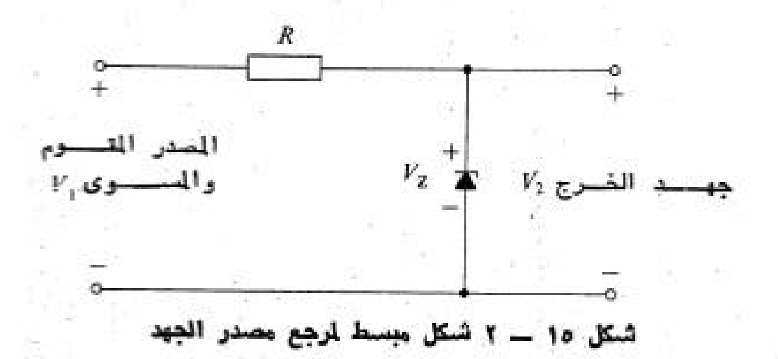
لذا فانه من الممكن عمل ترتيبة يتسنى لنبطية التحكم ان يتغير جهدهـــا لتمتص اية تغيرات فى مصدر الجهد . بمعنى أن ، تؤدى زيادة مصدر الجهد الى زيادة فرق الجهد بين طرفى نبطية التحكم ، بحيث لا يتغير الجهد المسلط على الحمل . وبالمثل ، ينتج عن انخفاض مصدر الجهد انخفاضا مناظرا فى فرق الجهد بين طرفى عنصر التحكم ، ليترك الجهد بين طرفى عنصر التحكم ، ليترك الجهد بين طرفى الحمل ثابتا لا يتغير مرة اخرى .

ومن الواضح ان الجهد بين طرفى الحمل يظل ثابتا على مدى واســع لتغيرات مصدر الجهد . وبالمثل ، اذا تغيرت قيمة مقاومة الحمل ، فان الجهد بين طرفى نبيطة التحكم يتغير ايضا وبسرعة للحفاظ على جهد الحمل ثابتا . سنناقش فيما يلى الاجزاء المختلفة للرسم التخطيطى للمراحل فى شكل ١٥ ــ ١ .

١٥ ــ ٢ مرجـع مصـدر الجهـد

يوضح شكل ١٥ ــ ٢ دائرة شائعة تستخدم كمرجع لمصدر الجهد . وهى تتكون من دايود زينار مع توصيل الكاثود للقطب الموجب لمصدر القدرة الغير ثابت الجهد عن طريق المقاومة R . وتزيد قيمة مصدر الجهد V_1 عن جهد الانهيار V_Z لدايود زينار ، ويظهر فرق الجهد بين V_1 و V_Z [يساوى $V_1 - V_Z$] بين طرفى المقاومة R .

ومن الضرورى أن لاتبدى وحدات الدايود ، التى تختار لمثل هذا النوع من التطبيقات، اى تغير فعلى لجهد الانهيار مع درجة الحرارة. وتساوى قيمة خرج

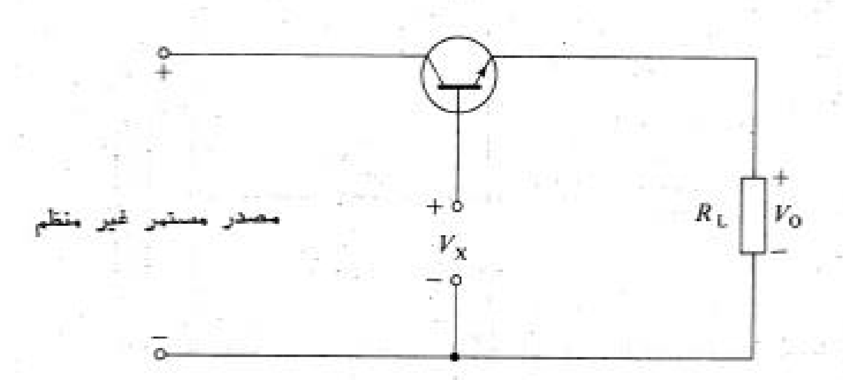


شكل ١٥ ــ ٢ شكل مبسط لمرجع مصدر الجهد

الجهد من هذه الدائرة ، قيمة جهد الانهيار للدايود زينار، أى أن $V_2 = V_Z$. فاذا تغيرت قيمة جهد المصدر V_1 ، فان فرق الجهد بين طرفى المقاومة R يتغير لمعادلة التغير ، ويظل جهد الخرج ثابتا .

١٥ ــ ٤ نبيــطة التحكــم الموصــلة على التـــوالى

ان اساس منظم التوالى هو تابع الباعث فى شكل ١٥ ــ ٣ . فالاشارة V_X المسلطة على قاعدة الترانزستور هى الخرج من مرجع لمصدر الجهــد يشبه المرجع الموضح فى شكل ١٥ ــ ٢ . وطبقا لما تم توضيحه فى الفصــل الثالث عشر ،

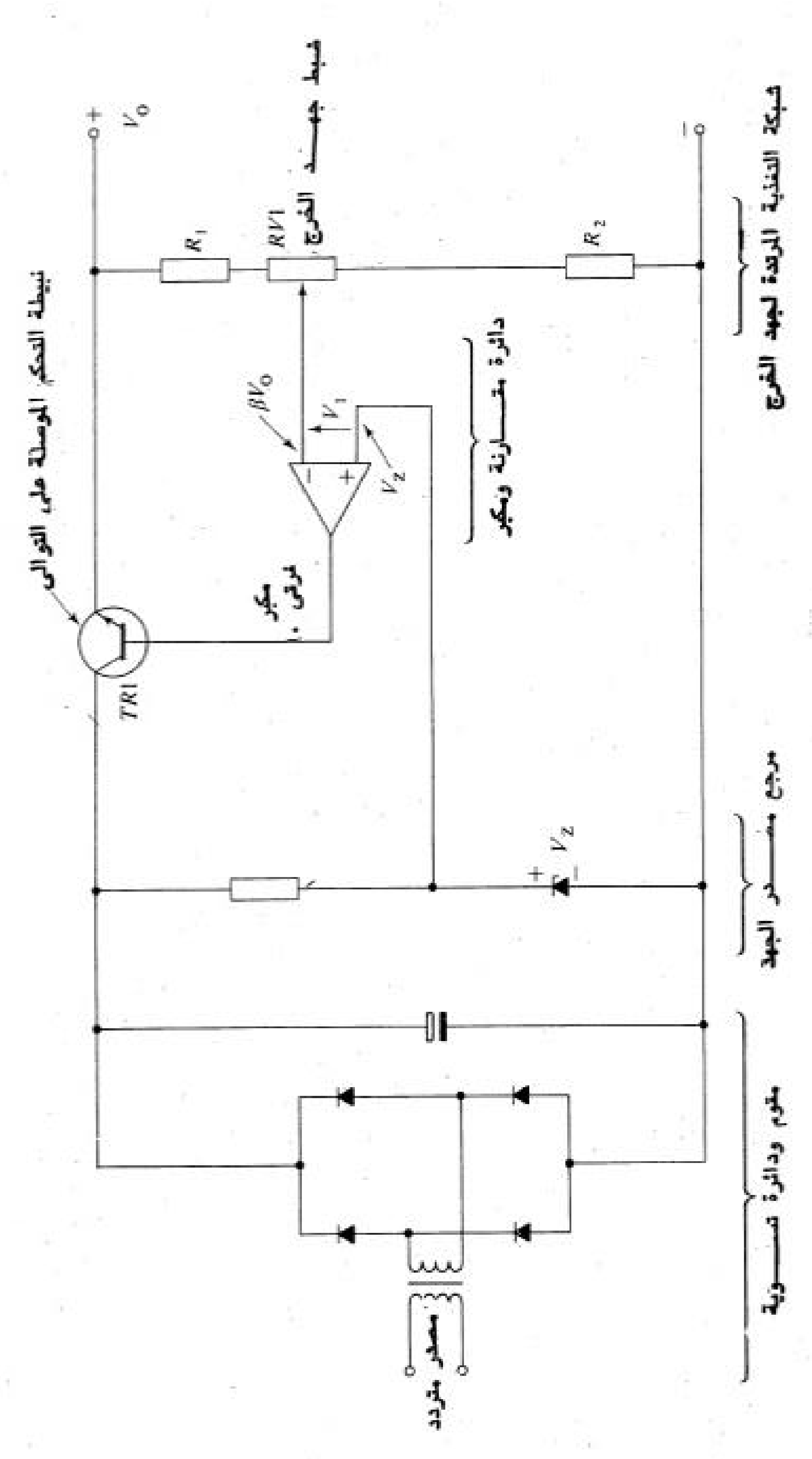


شكل ١٥ ــ ٣ صورة اساسية لدائرة متحكمة على التوالى .

سيدرك القارىء ان قيمة جهد الخرج V_O طبقا لعمل تابع الباعث تقل بمجرد قيمة قليلة عن قيمة V_X . وهكذا ، بالنظر الى أن قيمة V_X ثابتة ومستقرة فان جهد الخرج يظل ثابتا ومستقرا بالمثل .

١٥ ــ ٥ منظــم جهــد موصــل على التـــوالى

يوضح شكل ١٥ ــ ٤ احدى صور المنظمات الموصلة على التـــوالى ، وسيتعرف القارىء من هذا الشكل على المقوم ودائرة التسوية، ومرجع مصدر الجهد ونبطية التحكم الموصلة على التوالى ــ وتتكون شبكة خرج التغذية



شكل ١٥ ــ ٤ احدى صور منظم التوالى

المرتدة [أنظر ايضا شكل [١٥ — ١] فى الدائرة من شبكة المقاومة التى تحتوى R_1 و R_2 و RV وتستخدم المقاومة RV لضبط قيمة جهد الخرج . ويسلط جهد الخرج V_O وجهد المرجع V_Z الى دخلى المكبر الفرقى [أنظر ايضا الجزء ١٤ — ٦ من الفصل الرابع عشر] ، والذى يتناسب خرجه مع فرق الجهد بين جهدى الدخل اى $V_Z - \beta V_O$.

والجهدعند منزلق مقياس الجهد RV عبارة عن جزء β من جهد الخرج اى انه يساوى βV_O . فاذا كان كسب المكبر الفرقى مرتفعا لحد كبير فان قيمة الجهد V_1 بين طرفى المكبر الفرقى يصبح صغيرا جدا . اى ان

$$\beta V_O = V_Z$$
$$V_O = V_Z/\beta$$

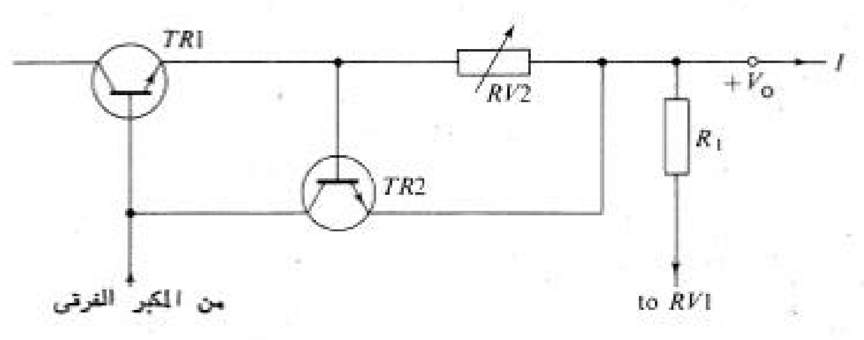
وعلى سبيل المثال ، اذا كانت $V_Z = 5$ V و $\beta = 0.4$ ، فان $V_O = 5/0.4 = 12.5$ فاذا تحرك منزلق مقياس الجهد فى اتجاه خط الخرج الموجب بحيث $\beta = 0.5$ ، فان قيمة جهد الخرج الجديد هى $V_O = 5/0.5 = 10$ V . ومن الممكن أن تكون المقاومة المتغيرة RV اما مفرق سبق ضبطه او ، فى حالة الاجهزة المعملية للاغراض العامة ، يكون مقياس الجهد مقبض تحكم على اللوحة الامامية للجهاز .

تنظم الدائرة الموضحة جهد خرجها تلقاء تغيرات جهد المصدر كما يلى : اذا زادت قيمة جهد المصدر ، فان جهد الخرج يميل الى الزيادة ، ومعه يتناقص الجهد الاجمالى عند دخل المكبر الفرقى [تذكر ان $V_1 = V_Z - \beta V_O$] ويؤدى هذا التأثير الى نقص جهد الخرج من المكبر الفرقى والذى ، طبقا لتأثير تابع الباعث ، يؤدى الى انخفاض جهد الخرج من منظم التوالى الى قيمة تختلف اختلافا قليلا عن قيمتها الاصلية .

١٥ — ٦ منظمات التوالى للوقاية من تجاوز التيار وتجاوز الجهد عند الخرج

من الممكن ان تستخدم دائرة الوقاية من تجاوز التيار المبينة فى شكل ١٥ — ٥ بالائتلاف مع منظم التوالى المبين فى شكل ١٥ — ٤ حيث ترجع المكونات $TR1$ و R_1 فى شكل ١٥ — ٥ الى المكونات المناظرة فى شكل ١٥ — ٤ وتهيىء المكونات الاضافية $TR2$ و $RV2$ وقاية من تجاوز التيار . وتعمل الدائرة كما يلى : عند الاستخدام ، تضبط القيمة $RV2$ بحيث لا تكفى قيمة فرق الجهد بين طرفيها ، عند القيم العادية لتيار ، لتجعل الترانزستور $TR2$ موصلا .

ففى حالات الحمل الزائد ، يصبح فرق الجهد بين طرفى $RV2$ على درجة من الزيادة التى تكفى لبدء توصيل $TR2$ وذلك عندما يحول $TR2$ بعض التيار من خرج المكبر الفرقى بعيدا عن قاعدة $TR1$. وهذا يؤدى الى انخفاض قيمة تيار المجمع $TR1$ الذى يقلل من قيمة تيار الحمل الى مستوى

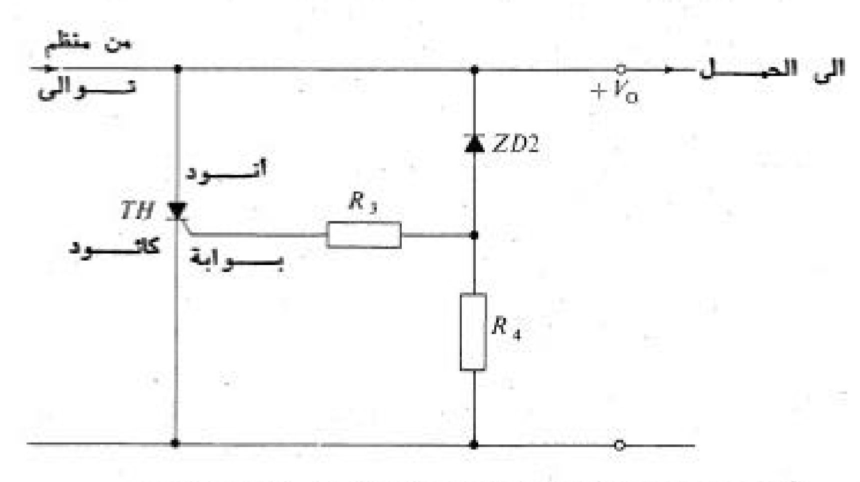


شكل ١٥ — ٥ احدى الطرق لاستخدام الوقاية من تجـاوز التيار .

آمن . فزيادة قيمة المقاومة $RV2$ تقلل من قيمة تيار الحمل الذى يبدأ عنده الحد من التيار اى انه عندما تكون قيمة RV كبيرة ، فان تيار الحمل يحد الى قيمة منخفضة .

وتتعرض نظم منطقية كثيرة للتلف اذا ارتفع مصدر جهدها عن قيمة معينة . فمن اللازم ان تتضمن مصادر القدرة المستخدمة مع هذه الانواع وسيلة لمنع جهد الخرج من الارتفاع عن حد الامان ، اى انها يجب ان تتضمن وقاية من تجاوز الجهد عند الخرج .

ويوضح شكل ١٥ — ٦ طريقة بسيطة لتوفير هذا النوع من الوقاية . ففى هذه الدائرة وعند ظهور تجاوز للجهد بين طرفى الخرج ، يسلط « مخل الكترونى (crowbar) » بين خطوط الخرج ، ويؤدى هذا الى تسليط دائرة قصر على خرج المنظم بصفة لحظية . ويوصف هذا النوع من الوقاية بالوقاية المخلية من تزايد الجهد ويحد من التيار المنساب فى دائرة القصر اما بواسطة الوقاية الحدية للتيار والموضحة سابقا او بواسطة انصهار مصهر المصدر او بتشغيل قاطع التيار حيث يوضع . ولا يستخدم هذا النوع من الوقاية مع نظم الدوائر التكاملية فحسب ولكنه يستخدم ايضا بكثرة مع مصادر كثيرة للقدرة ذات الجهد الثابت فى اجهزة استقبال التليفزيون الملون



شكل ١٥ — ٦ نوع مبسط للوقاية المخلية من تجاوز الجهد

وتحتوى الدائرة على نبيطة تعرف باسم الثايرستور ، وهى موضحة مـــع الرمز TH فى شكل ٥ ــ ٦ ، وستوصف بالتفصيل فى الجزء ١٥ ــ ٧ من هذا الفصل . ومن اجل تلبية احتياجات الغرض من هذا الجزء من الكتاب ، سيعطى شرح موجز هنا . فالثايرستور هو نبيطة تشبه الدايود لها ثلاث اقطاب [الكترود] هى بالاسم الانود والكاثود والبوابة . وتؤدى منطقتى الانود والكاثود وظائف منطقتى الدايود المتماثلتين . هذا ويختلف الثايرستور عن الدايود فى ان الثايرستور لا يستطيع التوصيل ، حتى ولو كان الانـــود موجبا بالنسبة الى الكاثود ، الى أن يدفع تيار فى منطقة البوابة للنبيطة . فطالما يوصل الثايرستور فانه يعمل كدايود عادى ، اى ان التيار ينساب خلاله طالما أن الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود .

وتعمل دائرة الوقاية من تجاوز الجهد والموضحة فى شكل ١٥ ــ ٦ كمايلى يحدد مستوى الاعناق للدائرة بواسطة جهد الانهيار لدايـــود زينار $ZD2$ فعندما يزيد جهد الخرج من المنظم عن جهد الانهيار لدايود زينار $ZD2$ ينساب التيار خلال مقاومة تحديد التيار R_3 وخلال بوابة TH . ويؤدى هـــذا الى دائرة الثايرستور TH لحالة من التوصيل وتسليط دائرة قصر على اطراف خرج المنظم .

١٥ ــ ٧ وحـــدات الثايرســتور

كما ذكر سابقا ، فان وحدات الثايرستور هى بالاســـاس نبائط شبيهه للدايود ولها الكترود تحكم اضافى . وقبل تسليط جهد على الكترود التحكم [البوابة] ، فان الثايرستور يعمل بطريقة مماثلة لمفتاح فى وضع الغلق ، ولا يمر خلاله اى تيار . وعند تسليط جهد بالقطبية الصحيحة [ستناقش القطبية الفعلية بعد ذلك فى هذا الجزء] على طرف البواب ، فان النبطية تعمل كدايود [يوجد هناك تغيرات طفيفة بالنسبة لهذا المطلب وستناقش فيما بعد . وقد صيغ اسم ثايرستور من حقيقة أنه يعمل مثل الثايراترون من مادة من أشباه الموصلات [الثايروترون هو صمام مملوء بالغاز يستعمل تقريبا لنفس الاغراض التى يستعمل فيها الثايرستور] . هذا وقد عرف نـــوع الثايرستور المستخدم فى شكل ١٥ ــ ٦ فى الماضى بالموحد السليكونى المحكوم أو SCR ، وهو الاسم التجارى .

توجد طائفتان شاملتان للثايرستور ، هما الثايرستور عكسى الاعاقة والثايرستور ثنائى الاتجاه . وللسهولة، سيرجع الى النوع الاول كالثايرستور والى النوع الثانى كالترايك .

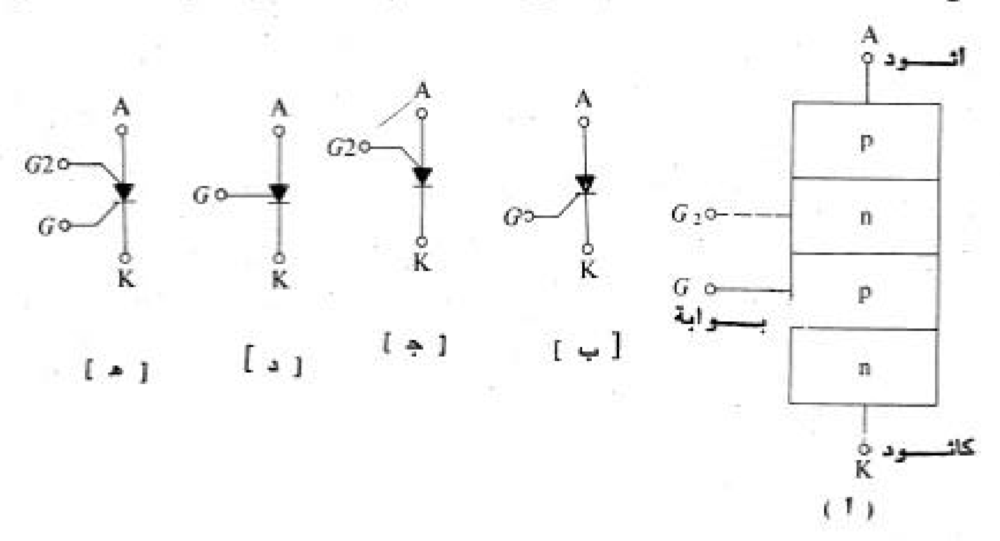
١٥ ــ ٨ الثايرســتور عكـــى الاعاقـــة

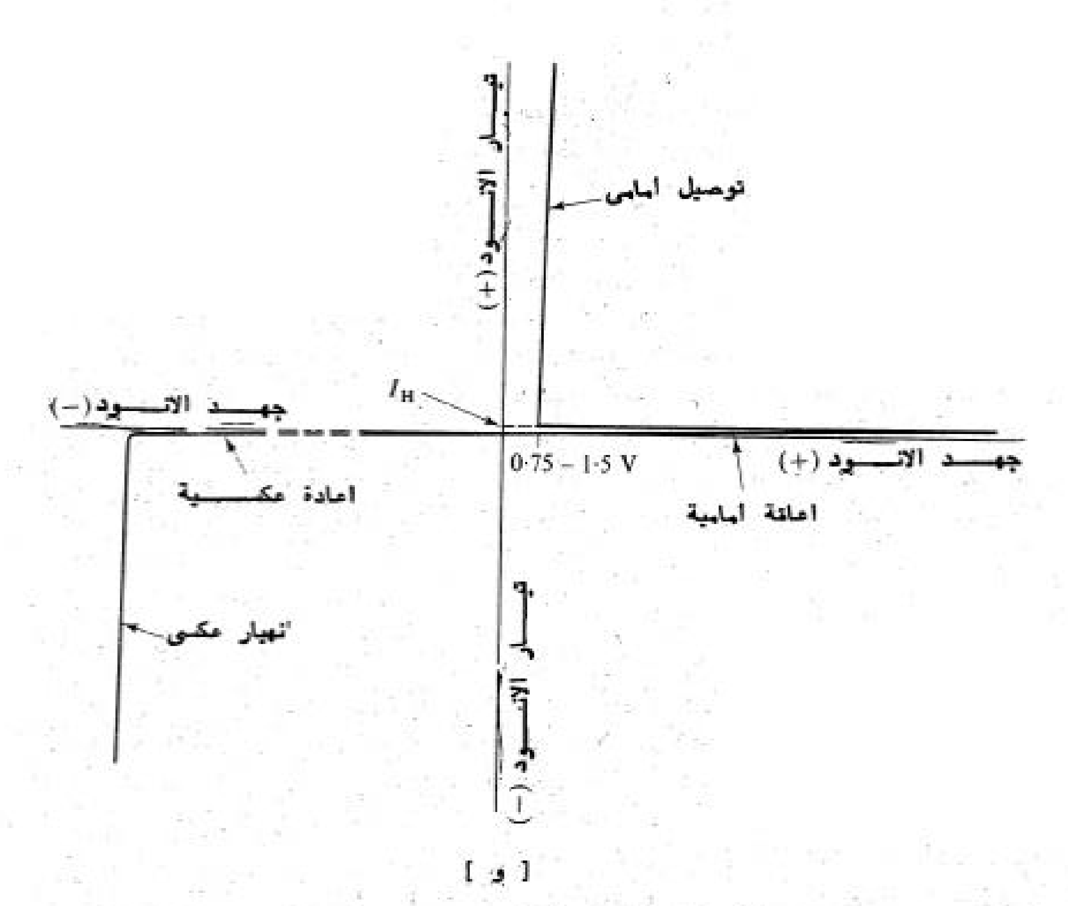
الثايرستور هنا هو نبيطة من مادة شبه موصلة تحتوى على أربع طبقات موضحة فى شكل ١٥ ــ ٧ [أ] ، حيث يتصل الانود والكاثود بنهايتى كل من المنطقة نوع م والمنطقة س على الترتيب . وتستخدم منطقة م المتوسطة

فى الثايرستور العادى كمنطقة البوابة G وقد وضح رمز الدائرة فى هذه الحالة بالشكل (b) وتستخدم نبائط اخرى منطقة س المتوسطة G2 ، كبوابة التحكم [أنظر الترانزستور احادى التوصيل القابل للبرمجة (PUT) فى الفصل التاسع] وقد وضح رمز الدائرة بالشكل (C) . تعرف البوابات G و G2 فى بعض الاحيان ببوابة الكاثود وبوابة الانود ، على الترتيب ، حيث ان منطقتى التحـــــكم هاتين ، قريبتان من منطقتى الكاثود والانود . ويستخدم الرمز فى شكل (d) ايضا ليمثل وحدات الثايرستور . ومع ذلك ففى نوع آخر من الثايرستور ، يعرف بالمفتاح السليكونى المحكوم ، تهيأ منطقتى البوابات لاغراض التحكم ، وقد وضع رمز الدائرة فى هذه الحالة بالشكل [هـ] . وحتى الان ، فان نبطية بوابة الكاثود ، شكل ١٥ ــ ٧ [ب]، هى اكثر انواع الثايرستور شيوعا ، وسنوضح فكرة عملها كما يلى :

تشابه الخواص الاساسية لجميع وحدات الثايرستور عكسية الاعاقة ما هو موضح فى شكل ١٥ ــ ٧ [و] . ففى الرسم ، يحدد الاتجاه الموجب عندما ينساب التيار الى دخل الانود . ولنأخذ فى الاعتبار أولا عمل النبطية عندما تساوى قيمة الجهد المسلط على البوابة الصفر . فعندما يكون أنـــود الثايرستور سالبا بالنسبة الى الكاثود ، لا يسمح الثايرستور بانسياب التيار خلاله [ونقول « يعوق » انسياب التيار] ، انما التيار المار خلاله هو تيار التسرب فقط ، وتبلغ قيمته حوالى 200 μA لنبيطة معدلها 1 A وحوالى 5mA لنبطية معدلها 10A. وعندما يكون الانود سالبا ، نقول ان الثايرستور يعمل على الاسلوب عكسى الاعاقة . فاذا زاد الجهد العـــــاكسى المسلط على الثايرستور تدريجيا نصل الى النقطة التى يحدث عندها انهيار عكسى ويزداد التيار خلال الثايرستور بسرعة بالغة . وما لم يحد من قيمة التيار بعد حدوث الانهيار العكسى فان درجة حرارة الثايرستور تبدأ فى الزيادة كنتيجة للقدرة المتولدة من النبطية . وفى غالبية الحالات ، يؤدى هذا الى تلف الثايرستور .

سيوجه انتباه القارىء الان الى عمل الثايرستور فى الربع الاول من الخواص [عندما يكون الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود] . هنا ، وعندما تبلغ قيمة جهد البوابة الصفر وفى حدود الجهد المقنن للثايرستور ، فان





[و]

شكل ١٥ ـ ٧ الثايرستور [أ] التركيب [ب] و [جـ] و [د] الرموز الاصطلاحية للدائرة و [د] خواص الانود التقليدية

الثايرستور يمنع انسياب التيار مرة اخرى ، وفى هذه المرحلة من التشغيل ، يقال ان الثايرستور يعمل على اسلوب الاعاقة الامامى من التشغيل .

ويمكن توصيله من هذه الحالة الى اسلوب توصيلها الامامى :

[أ] بتسليط اشارة على البوابة تجعل منطقة البوابة موجبة بالنسبة الى الكاثود أو ،

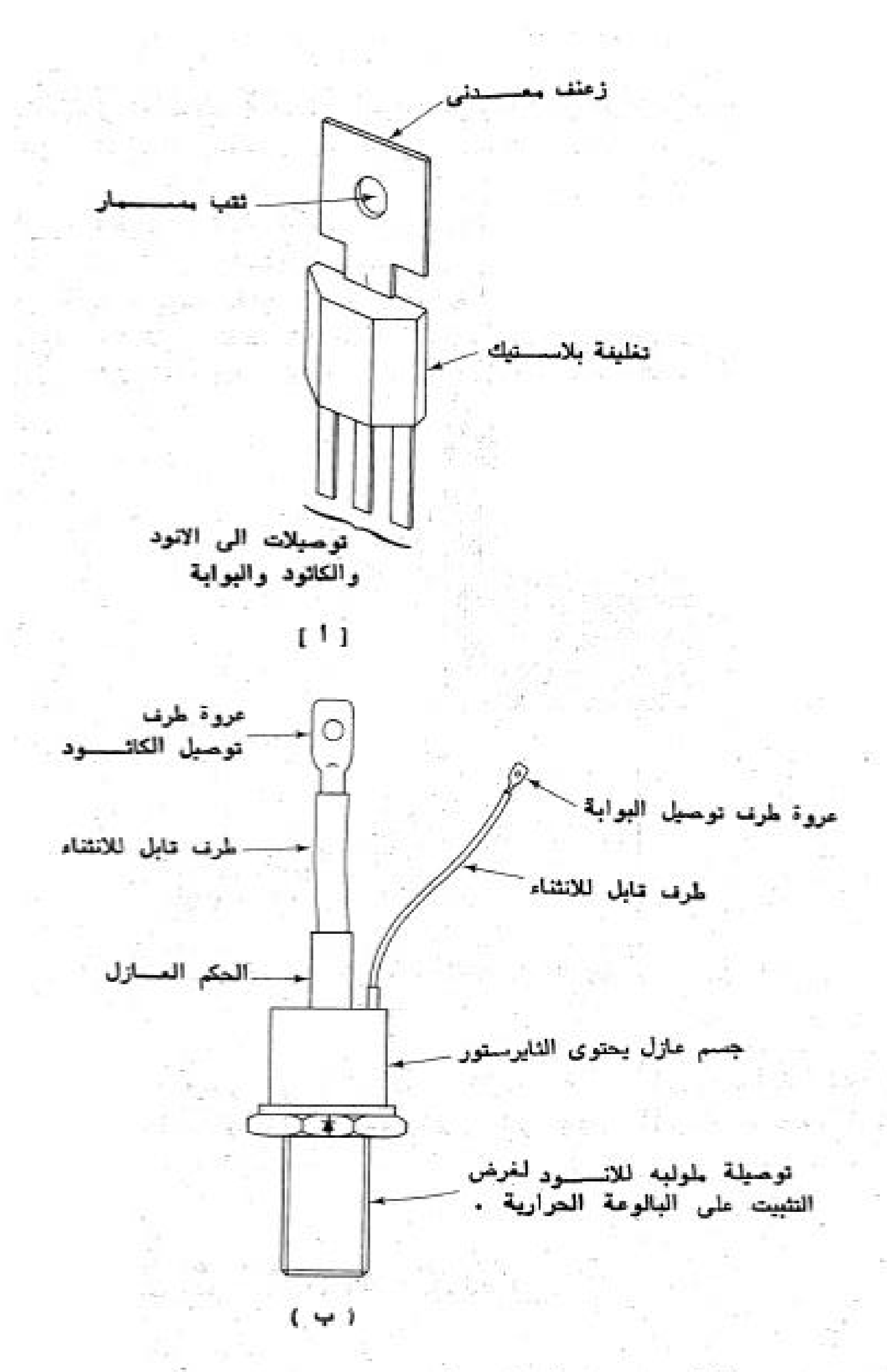
[ب] بزيادة جهد الانود الى النقطة التى يحدث عندها انهيار امامى . والطريقة [أ] السابقة هى الطريقة المعتادة لوصل الثايرستور . وقد تأخذ اشارة البوابة المستخدمة لوصل الثايرستور شكلا واحدا من الاشكال التى تتضمن (i) جهدا مستمرا أو (ii) جهدا معوقا من تيار متردد . أو (iii) نبضة قصيرة بمدة بقاء حوالى بضعة وحدات من الميكروثانية . وتفضل الطريقة (iii) لعدة اسباب ستناقش فيما بعد .

هذا بمجرد انطلاق الثايرستور الى حالة التوصيل الامامى له ، يهبط الجهد بين طرفيه الى قيمة منخفضة نسبيا ، وتبلغ القيمة النمطية لهذا الجهد حوالى 0.75 — 1.5 V عند التيار المقنن . وهكذا ، وعند الحمل الكامل ،

يبدد ثايرستور بتقنين واحد أمبير حوالى 1W ويبدد ثايرستور بتقنين 100 A حوالى 100 W . ومن الواضح أنه بالنسبة للاحجـــام الكبيرة يلزم تركيب الثايرستور على بالوعة حرارية والتى يمكن تبريدها بالمروحة ، ان تطلب الامر ذلك وبمجرد ان يصبح الثايرستور فى حالة التوصيل الامامى ، تفقد اشارة البوابة قدرة التحكم فى الثايرستور وقد ينخفض جهد البوابة الى الصفر . وعلاوة على ذلك فانه بمجرد ان يصبح الثايرستور موصلا ، فانه يستمر فى التوصيل ، طالما استمر الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود . ويقفل الثايرستور باقلال تيار الانود الى ما دون قيمة تعرف باسم التيار القابض [انظر شكل ١٥ — و] وتبلغ قيمة هذا التيار حوالى 2-5 mA بالنسبة الى نبطية بتقنين 1 A وحوالى 1 mA بالنسبة الى نبطية بتقنين 15 A . ولاقلال قيمة تيار الانود الى هذه القيمة ، ينقص جهد الانود الى قيمة الصفر او يجعل سالبا .

مما سبق ، لا يستلزم الامر سوى تسليط اشارة على منطقة البوابة لمدة بضعة وحدات من الميكروثانية لوصل الثايرستور ON . ولهذا السبب تتضمن الانواع الشائعة لدائرة بوابة التحكم مولدات نبضات ، حيث قد وضح فى الفصل الثالث عشر من قبل نوعان ملائمان منها وستوصف انواع اخرى منها فيما بعد فى هذا الفصل . وهناك سبب وجيه آخر لتفضيل استخدام مولد نبضات عن اشارة بوابة مستمرة وهو أن القيمة المتوسطة للقـــدرة المدفوعة الى داخل منطقة البوابة مولد النبضات تعتبر فى واقع الامر صغيرة جدا وهذا عائد الى تسليط نبضة البوابة لمدة صغيرة جدا من الزمن . وهناك سبب ثالث لاستخدام اشارة بوابة نبضية يتمثل فى ان القيمة المسموح بها لتيار الذى قد يدفع الى داخل البوابة خلال فترة الوصل (ON) . تزيد كثيرا عما اذا ما تم تسليط جهد ثابت وتؤدى القيمة المرتفعة لتيار البوابة الى وصل الثايرستور (ON) بسرعة أكثر عنها فى حالة تيار بوابة اقل . ويؤدى هذا بدوره الى الاقلال من القدرة المبددة فى الثايرستور خلال فترة الوصل (ON) .

وبصفة عامة ، يوصف الثايرستور على انه نبطية ذات قدرة منخفضة عندما يكون مقنن تياره أقل من حوالى 5 A ويوصف على انه نبطية ذات قدرة متوسطة اذا كان مدى مقنن التيار محصورا بين 5 A و 50 A ولوحدات الثايرستور مرتفعة القدرة مقننات للتيار تزيد عن حوالى 50 A . ولا يعتمد نوع التغليف المستعمل للثايرستور على مقنن التيار فحسب ، بل يعتمد ايضـــا على طبيعة الاستخدامات . وتستكن وحدات الثايرستور بتقنين حوالى 1 A فى علب صغيرة TO-5 أو فى تغليفة من البلاستيك كما وضح فى الفصل التاسع [انظر شكل ٩ — ٢ . هذا وتستكن بعض نبائط الثايرستور المنخفضة والمتوسطة القدرة] بتقنين من 10 A — 5] فى تغليفه [كبسولة] بلاستيك مماثلة لتلك الموضحة فى شكل ١٥ — ٨ [أ] والتى تمتلك بالوعة حرارية بسيطة على شكل زعنف بارز ويمكن أن يستخدم الزعنف لربطه مع بالوعة حرارية اكبر .

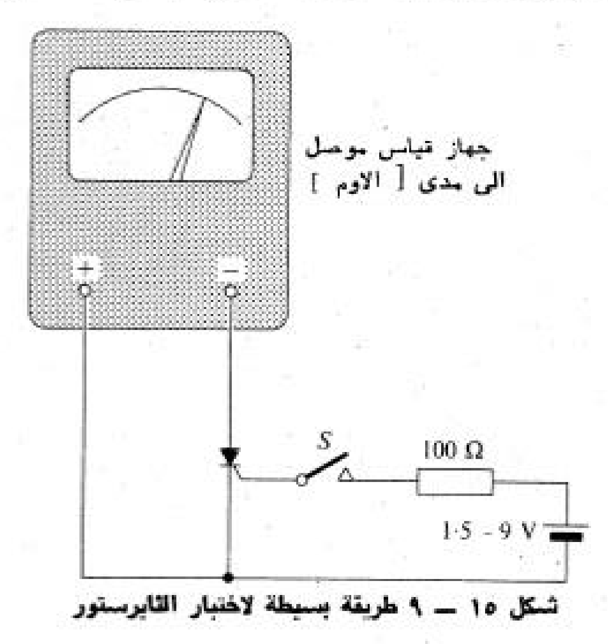


شكل ١٥ ـــ ٨ نوعان من انواع تجمعيـــات الثايرستور

وتتخذ كثير من وحدات ثايرستور القدرة المتوسطة والقدرة العالية اشكالا تماثل ما هو موضح فى شكل ١٥ ـــ ٨ [ب] ، حيث يعتبر المسمار المستخدم لتثبيت الثايرستور مع البالوعة الحرارية هو وصلة الانود الخارجية . وتصنع توصيلات الكاثود والبوابة عن طريق اطراف قابلة للانثناء . وفي بعض الحالات ، تتبادل توصيلات الانود والكاثود ، حيث يخصص لتوصيلة الانود الطرف القابل للانثناء . كوسيلة للتعرف على اطراف التوصيل [الالكترود]،

تطبع الرموز الاصطلاحية للدائرة احيانا على واحد من أوجه تغليفة الثايرستور. كما هو موضح فى الرسم التخطيطى [ب] .

طريقة بسيطة لاختبار الثايرستور : يوضح شكل ١٥ — ٩ طريقة بسيطة لاختبار الثايرستور باستخدام جهاز قياس متعدد المدى موصل على مدى الاوم . وليست قيمة مقاومة دائرة البوابة [قيمتها الموضحة 100 Ω] حرجة وتعمل فقط كمقاومة للحد من التيار وعندما يكون المفتاح S مفتوحا ، يجب ان يظهر المؤشر مقاومة لا نهائية . فعند اغلاق المفتاح S ، يجب ان تنخفض

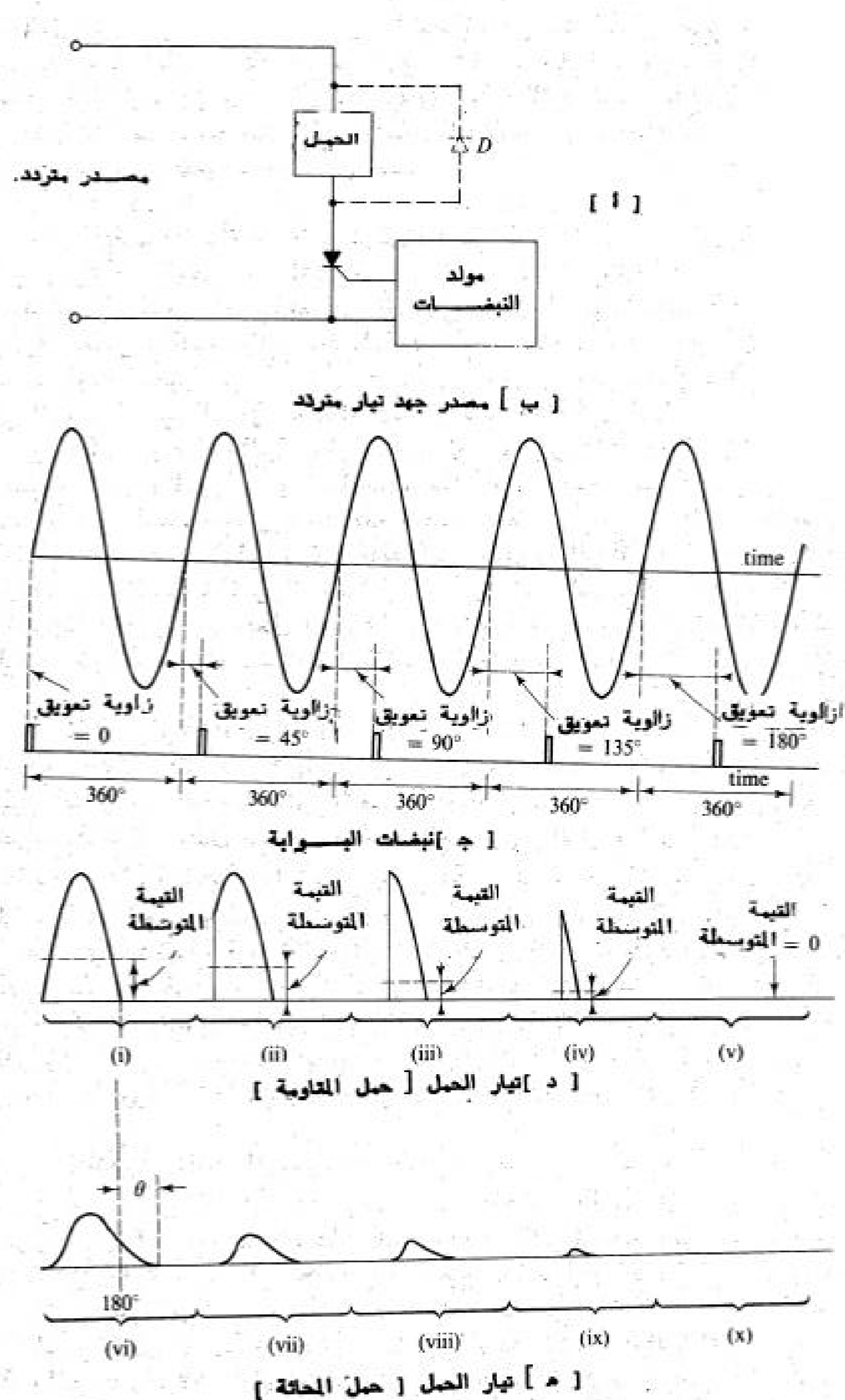


شكل ١٥ — ٩ طريقة بسيطة لاختبار الثايرستور

المقاومة المبينة للمؤشر الى قيمة اقل ، تكون عادة 1000 Ω ، اما المقاومة بين منطقتى البوابة والكاثود للثايرستور التى يبينها المقياس متعدد المدى فتبلغ عادة حوالى 50 Ω .

١٥ — ٩ الدوائر الاساسية للثايرستور :

لعل ابسط شكل لدوائر الثايرستور هى دائرة النصف موجه احادية الطور فى شكل ١٥ — ١٠ [أ] . ومن الممكن ان يتبادل وضعى الثايرستور والحمل، فى بعض الحالات ، لتحقيق ميزة معينة [انظر : على سبيل المثال ، الجزء ١٥ — ١٠] . سيعطى السبب لاستخدام الدايود D فيما بعد . وكما سبق توضيحه فى الجزء ١٥ — ٧ ، فانه من الممكن اطلاق الثايرستور لحالة التوصيل عند اية نقطة فى انصاف الموجات التى يكون الانود فيها موجبا بالنسبة الى الكاثود . ويمكن التحكم فى النقطة التى يطلق فيها الثايرستور بواسطة مولد النبضات .



شكل ١٥ — ١٠ الاشكال الموجية لدائرة ثايرستور احادية الطـــور .

الموصل الى البوابة] لاحظ أن مولد النبضات فى هذه الدائرة يمكن ان يماثل الى حد كبير لذلك الذى قدم فى الجزء ١٣ — ١١] . ويوضح الرسمان التخطيطيان [د] و] هـ] اشكالا موجية نمطية للتيار فى حالة حمل المقاومة البحتة وكذا فى حالة حمل المحاثة على الترتيب . وسيوضح فيما يلى عمل الدائرة بالنسبة لكلا النوعين من الحمل .

حمل المقاومة البحتة : [انظر شكل ١٥ — ١٠ د] يوضح شكل ١٥ — ١٠ [ب] الشكل الموجي من التيار المتردد لخمس دورات كاملة لمصدر الجهد ، ويفترض ان الثايرستور يطلق فى كل دورة بواسطة نبضة واحدة . وتعرف زاوية الطور ، التى يطلق عندها الثايرستور بالنسبة الى بداية الدورة ، باسم زاوية التعويق [أنظر شكل ١٥ — ١٠ [ب]] وتساوى زاوية التعويق فى الدورة الاولى الصفر ويحدث الاطلاق عند بداية اول نصف دورة موجب [دورة (i)] . وحالما يطلق . فان الثايرستور يستمر فى التوصيل خلال باقى النصف الموجب للدورة . وعند نهاية نصف الدورة هذه وعندما ينخفض جهد المصدر الى الصفر ، فان قيمة تيار الحمل تهبط الى ما دون التيار القابض للنبطية . ثم يرتد الثايرستور بعدئذ الى أسلوب الاعاقة العكسى خلال كل النصف السالب للدورة عندما لا يمر تيار فى الحمل . وتكافىء القيمة المتوسطة لتيار الحمل خلال الدورة (i) مثيلتها فى دائرة مقوم نصف الموجة المعتادة موضحة بخط متقطع على الشكل الموجى (i) .

وتساوى زاوية التعويق فى الدورة (ii) 45° . ويعوق الثايرستور انسياب التيار خلال [ي 45° الاولى من الدورة . يحدث الاطلاق عند 45° ويمر التيار فى الحمل لباقى النصف الموجب للدورة . وتتناسب القيمة المتوسطة لتيار الحمل مع المساحة أسفل منحنى التيار خلال الدورة (ii) وحيث أن هذه المساحة تقل عن المساحة تحت منحنى تيار الدورة (i) فان القيمة المتوسطة للتيار فى الدورة (ii) تقل عن قيمتها فى الدورة (i) اى ان ، زيادة قيمة **زاوية التعويق تؤدى الى الاقلال من قيمة تيار الحمل** . وهناك طريقة اخرى نشير بها الى زيادة زاوية التعويق وهى أن نقول ان نبضة البوابة **متطاورة خلفيا** اعتبارا من بداية الدورة . وعندما تقل زاوية التعويق ، نقول أن نبضة البوابة **متطاوره أماميا** نحو نقطة الصفر . وكما فى حالة الدورة (i) لا ينساب التيار فى النصف السالب للدورة .

وفى الدورة (iii) للرسوم التخطيطية [ب] و] د] . تتطاور نبضة البوابة خلفيا الى 90° ويبدأ التوصيل عند هذه النقطة ويستمر لباقى نصف الدورة . وتقل القيمة المتوسطة لتيار الحمل اكثر نتيجة لهذا التأثير . وبزيادة زاوية التعويق الى 135° فى الرسوم التخطيطية [ج] و [د] للدورة (iv) تنخفض القيمة المتوسطة لتيار الحمل الى قيمة منخفضة جدا . وفى النهاية ، تؤدى المطاورة الخلفية لنبضة البوابة بمقدار 180°] أنظر الدورة V] الى عدم اطلاق الثايرستور بتاتا ، حيث المحاولة لوصلة عند قيمة الانود مساوية للصفر وعلى وشك أن يصبح سالبا . وتصبح القيمة المتوسطة لتيار الحمل فى الدورة (V) مساوية للصفر . ومن الممكن أن تطاور نبضة البوابة

خلفيا بعد 180° ولكن لا يؤثر هذا التشغيل بأى شكل على جهد الخرج حيث ان الثايرستور لا ينطلق فى هذه الحالة .

ويوضح الوصف السابق كيف يمكن التحكم فى القيمة المتوسطة بتغير زاوية التعويق لنبضات البوابة . يستخدم هذا التكنيك بكثرة فى ترتيبات التحكم فىسرعة المحركات الكهربائية ودرجة حرارة الغرب والاضاءة . . الخ. والاسم الذى يعطى لهذه الطريقة لتغير نقطة الانطلاق هو تحـكم الطور .

حمل المحاثة : انظر شكل [١٥ ــ ١٠ هـ] عند تسليط جهد على حمل حثى فان تيار الحمل لا يتزايد الا ببطء فقط عند البداية . ويرجع هذا الى ظاهرة الـــ ق.د.ك . المستحثة ذاتيا [العكسية] فى الملف . وعلاوة على ذلك ، فانه عند نهاية النصف الموجب للدورة عندما يقل الجهد الى الصفر ، تمنـــع الـــ ق.د.ك العكسية تيار الحمل من ان يتناقص الى الصفر بصفة لحظية . اى أن التيار يظل منسابا فى الاتجاه الامامى اثناء الجزء الاول من كل نصفه دورة سالبة من الشكل الموجى لجهد المصدر . ويتناظر ذلك مع حالة ارجاع الملف لجزء من الطاقة به الى نظام المصدر .

ويتزايد التيار ببطء فى الدورة (vi) من شكل ١٥ ــ ١٠ [هـ] ، وبعـــد أن يصل الى قيمة للذروة ، يضمحل فى النهاية الى الصفر عند زاوية θ بعد نهاية النصف الموجب للدورة . ويعنى هذا أن الـــ ق.د.ك العكسية فى الحمل الحثى قد دفعت الثايرستور الى الاستمرار فى التوصيل بعد نهاية النصف الموجب للدورة . وفى بعض الدوائر ، يستلزم الامر قطع انســـياب التيار خلال الثايرستور اثناء كل النصف السالب ــ للدورة . وفى احدى الطرق البسيطة لتأكيد حدوث ذلك ، يوصل الدايود D على التوازى مع الحمل ، حيث وضح الدايود بخط متقطع فى شكل ١٥ ــ ١٠ [أ] . ووظيفة الدايود [دايود التوحيد] هى تهيئة مسار بديل لانسياب التيار الحثى عندما يصبح جهد المصدر سالبا .

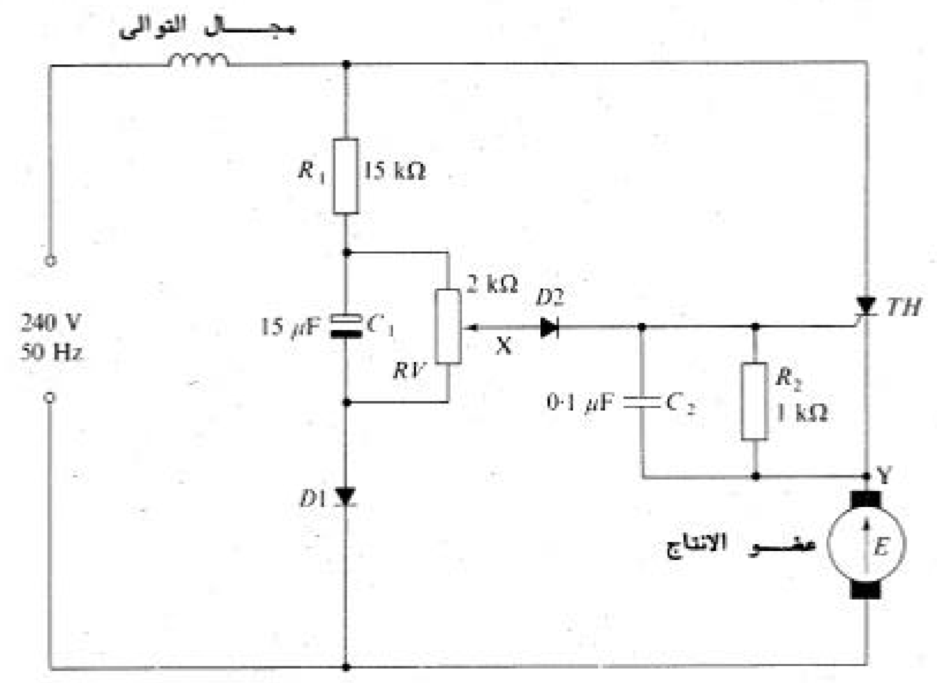
وكما فى حالة المقاومة ، يؤدى التطاور الخلفى لنبضة البوابة والى تعويق نقطة اطلاق الثايرستور ويقلل القيمة المتوسطة لتيار الحمل [انظر الاشكال الموجية (vii) الى (ix) فى شكل ١٥ ــ ١٠ هـ] . وتنخفض فى النهاية قيمة تيار الحمل الى الصفر عندما تساوى زاوية التعويق 180° .

١٥ ــ ١٠ نظام للتحكم فى سرعة الموتور الجامع :

يوضح شكل ١٥ ــ ١٠ دائرة تستخدم بكثرة فى المعدات المنزلية للتحكم فى سرعة الموتورات الجامعة . ولقد وجد بالممارسة عقبات لتهيئة تحكم دقيق فى السرعة بالنسبة لنظم التحكم الاساسية للثايرستور من النـــوع السابق توضيحه ، وذلك نتيجة للتغيرات فى الحمل الميكانيكى المسلط على الموتور . ومن ضمن الطرق التى تستخدم للتغلب على هذه الصعوبة توفير

تغذية مرتدة سالبة مع نظام التحكم وينفذ هذا فى شكل ١١ ـ ١١ باحلال موضعى الثايرستور والحمل كل منهما بدل الاخر اذا ما قورن ذلك مع دائرة شكل ١٥ ـ ١٠ [أ] . وهنا يمكن اعتبار حمل عضو الانتاج كما لو كان مقاومة بحتة ولا تحتاج الى دايود التوحيد .

ويقوم الدايود $D1$ بأداء دور مقوم نصف الموجه الذى يسمح بسلسلة نبضات ذوات اتجاهيات موجبة لان تظهر عبر مجموعة المقاومات R_1 و RV وبالتالى يصبح الجهد عند النقطة X ، والذى يمكن ان يتغير بضبط منزلق المفرق وجهد « مرجع السرعة » المسلط على نظام التحكم . أما وظيفة المكثف C_1 فهى تقدمه انحراف فى الطور . بين



شكل ١٥ ـ ١١ دائرة نصف موجة للتحكم فى سرعة الموتور الجامع

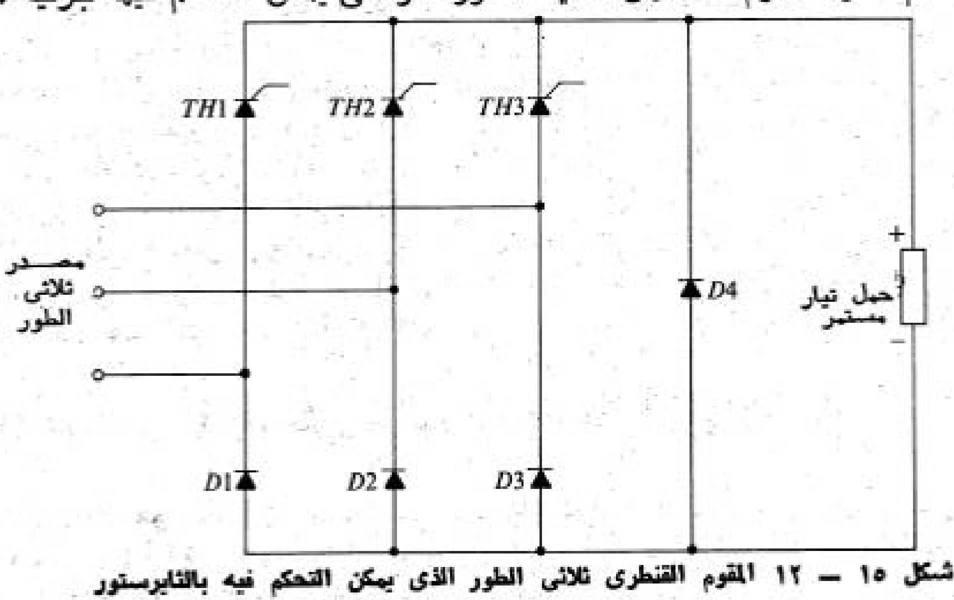
الجهد V_X ومصدر الجهد ، والسماح لزاوية تعويق الاشغال بامكانية التحكم فيها بانتظام من صفر الى 150° . وتعتمد قيمة C_1 المستخدمة على خواص الموتور ، وقد تزيد القيمة المختارة او تقل عن القيمة الموضحة . اذا اصبح المكثف C_1 ضمن دائرة مفتوحة ، فانه يمكن التحكم فى زاوية التعويق فى المدى من صفر الى 90° فقط ، مما يعنى أن الاله لن تعمل بكفاءة عند السرعة المنخفضة .

ويستخدم فرق الجهد بين النقطتين X و Y لاطلاق الثايرستور . ويساوى الجهد عند النقطة Y بالتقريب قيمة الـ ق.د.ك « العكسية » لعضو الانتاج والتى تتناسب بالتالى مع سرعة دوران عضو الانتاج . وهكذا كلما ازداد جهد X عن جهد Y يطلق الترانزستور لحالة من التوصيل تسلط

القدرة الى الموتور . ويؤدى تحريك منزلق المفرق الى اعلى [اتجاه R_1] الى انخفاض قيمة زاوية التعويق ، مما يؤدى الى دوران عضو انتاج الموتور بسرعة اكثر هذا وتضمن المكونات R_2 و C_2 لتعطى تحكما منتظما فى السرعة فى حالات السرعة المنخفضة عندما تكون زاوية التعويق كبيرة .

١٥ - ١١ دائــرة قنطرية ثلاثية الطور يمكن التحكم فيها :

يعتبر مقوم القنطرة ثلاثى الطور والموضح فى شكل ١٥ — ١٢ دائرة شائعة فى كثير من المنشآت الصناعية . وتختلف هذه الدائرة عن مقوم القنطرة التى لا يراد التحكم فيها والتى سبق ان وضحت فى الفصل الثامن ، فى أن وحدات الثايرستور قد حلت محل وحدات الدايود الثلاثة العلوية . وحيث أن نصف النبائط فقط فى الدائرة عبارة عن وحدات ثايرستور ، فانها تعرف باسم دائرة المقوم القنطرى ثلاثية الطور ، والتى يمكن التحكم فيها جزئيا .



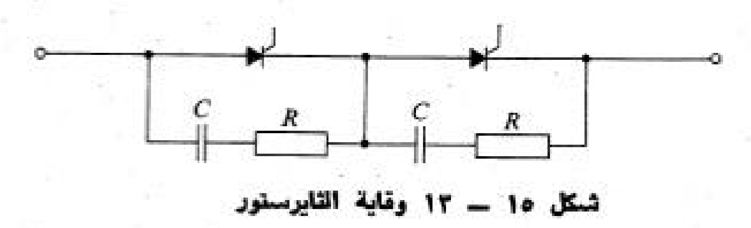
شكل ١٥ — ١٢ المقوم القنطرى ثلاثى الطور الذى يمكن التحكم فيه بالثايرستور

تعرف دوائر المقوم القنطرى التى تستعمل وحدات الثايرستور الشاملة بدوائر المغير القنطرى والتى يمكن التحكم فيها بالكامل . وتختلف النبضات المسلطة على البوابات TH1 و TH2 و TH3 وفى الطور كل منهما عن الاخرى بزاوية قدرها $120°$ وللتحكم فى القيمة المتوسطة لجهد الخــرج من الدائرة ، تنظم كل نبضات البواباتلكى تكون اما خلفية التطاور او امامية التطاور فى نفس الوقت .

عندما يوصل TH1 يعود التيار الى المجموعة خلال وحدتى الدايود $D2$ و $D3$ وعندما يوصل TH2 فان التيار يعود خلال $D1$ و $D3$ ... الخ . علما بأن الدايود $D4$ عبارة عن دايود توحيد ويستخدم للاحمال الحثية فقط .

وكما فى حالة دوائر قنطرة الدايود فى الفصل الثامن ، فانه يجب وقاية وحدات الثايرستور من الجهود والتيارات العابرة . وعندما توجد فى الدائرة، يمكن وقايتها بالمصهرات من المواد شبه الموصلة ذات السرعة المرتفعة وكذلك

بالمصهرات عالية السعة المقننة (h. r. c) . وعلاوة على ذلك فان وحدات الثايرستور تكون اكثر عرضة للتلف بالجهود العابرة عن اى وحدات الدايود ثنائية الوصلات . وفى أحدى الطرق المستخدمة لوقاية الثايرستور توصل شبكة مكونة من R و C على التوازى مع الثايرستور ، كما هو موضح فى شكل ١٥ – ١٣ .

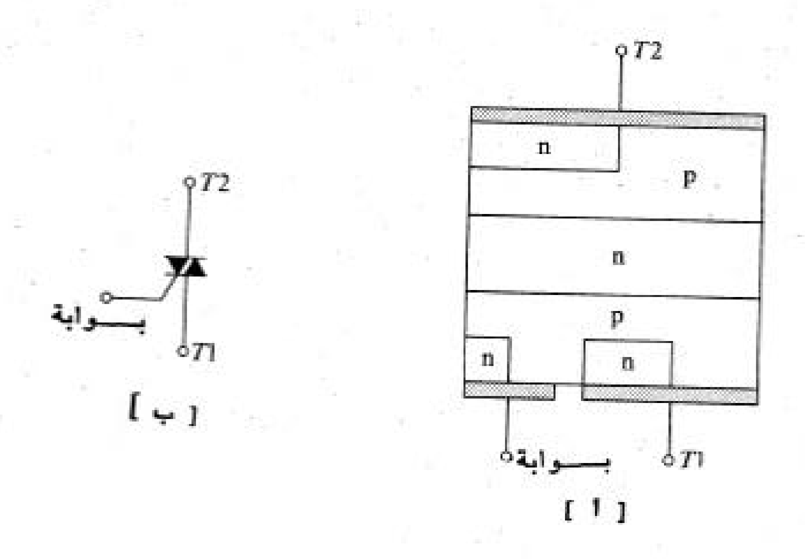


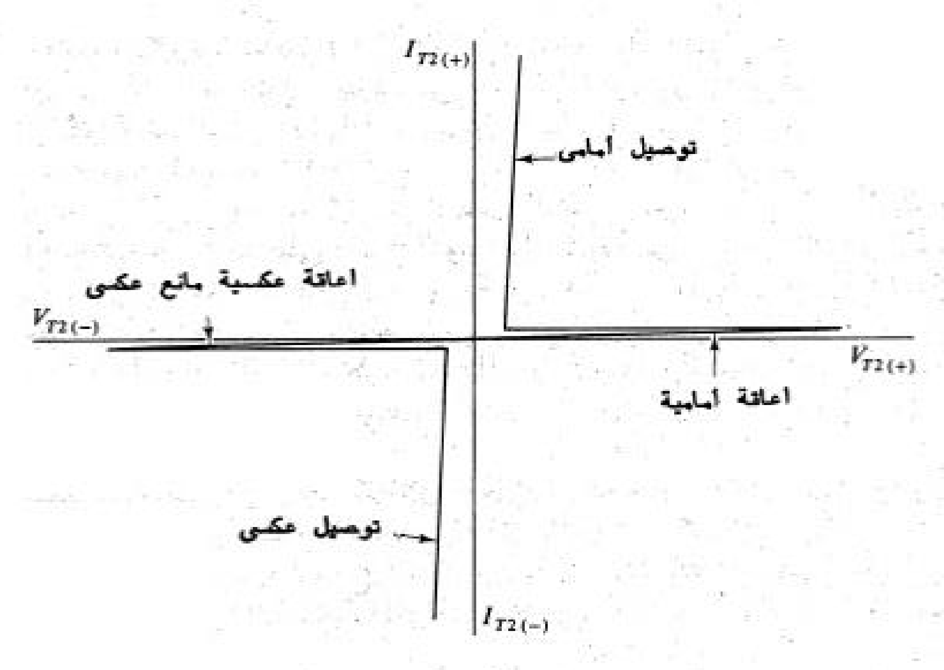
شكل ١٥ – ١٢ وقاية الثايرستور

وتخذ المقاومة R والمكثف C فى الدائرة قيما شائعة مقدارهــا 10 Ω و 0.01 μF على التوالى . وتحقق المكونات R و C اغراضا اخرى تشمل [أ] تهيئة توزيع جهد منتظم بين وحدات الثايرستور عندما تنحاز عكسيا . و [ب] تهدئة اية تذبذبات قد تحدث بين محاثة المصدر والسعة الذاتية لوحدات الثايرستور . وعلاوة على ذلك ، ففى حالة ارتفاع محاثة العمل ، يصبح معدل تغير تيار الحمل عند الوصل (ON) بطيئا نسبيا ، وفى مثل هذه الحالات ، وفى حالة عدم وجود المكثف C والمقاومة R ، قد يعجز الثايرستور « ليصل » الى حالة التوصيل عند الوقت الذى تهبط فيه نبضة البوابة الى الصفر . عند توصيل المقاومة R والمكثف C على التوازى مع الثايرستور ، تؤدى نبضة الانطلاق الى تفريغ المكثف C خلال الثايرستور ؛ ينتج عن هذا التيار اسقاط كل ثايرستور فى منطقة التوصيل .

١٥ – ١٢ الثايرستور ثنائى الاتجاه أو الترايـــك :

الترايك هو نبطية من مادة شبه موصلة متعددة الطبقات ، ويوضح شكل ١٥ – ١٤ [أ] قطاع مبسط لها . ويبين كل من الرسم التخطيطى [ب]و[ج] الرمز الاصطلاحى للدائرة ، وخواص النبطية على الترتيب .





[جـ]

شكل ١٥ ــ ١٤ الترايك وخواصــــه

للترايك ثلاثة اطراف هى $T1$ و $T2$ والكترود البوابة . وحيث أن الترايك يستطيع أن يوصل فى كلا الاتجاهين فانه لا يمكن اعتبار احد الطرفين الاساسين [$T1$ و $T2$] على انه انود النبيطة . ويمكن ان يعمل الترايك اما على الاسلوب العائق او على اسلوب التوصيل لكل من قبى الطرف $T2$ كما هو موضح فى الخواص المبينة فى شكل ١٥ ــ ٤ [جـ] . وعلاوة على ذلك ، يمكن أن يطلق الترايك للتوصيل بواسطة اشارة البوابة التى اما ان تكون موجبة وسالبة القطبية . وعلى وجه العموم ، يحتاج الترايك الى تيار بوابة ذى قيمة اكبر من تلك التى يحتاجها الثايرستور لكى ينطلق الى حالة التوصيل .

طريقة بسيطة لاختيار الترايك :

من الممكن ان تستخدم الطريقة الموضحة فى الجزء ١٥ ــ ٨ [أنظر ايضا شكل ١٥ ــ ٩] لاختبار وحدات الثايرستور كذلك لاختبار وحدات الترايك . وحيث انه من الممكن اطلاق الترايك بأى من قطبية الجهد المسلط فان قطبية اشارة البوابة وكذلك توصيلات الترايك الى المقياس المتعدد المدى لن تؤثر على نتيجة الاختبار . وتبلغ قيمة المقاومة بين البوابة والطرف $T1$ كمايوضحها المقياس ، فى العادة حوالى بضعة مئات من وحدات الاوم .

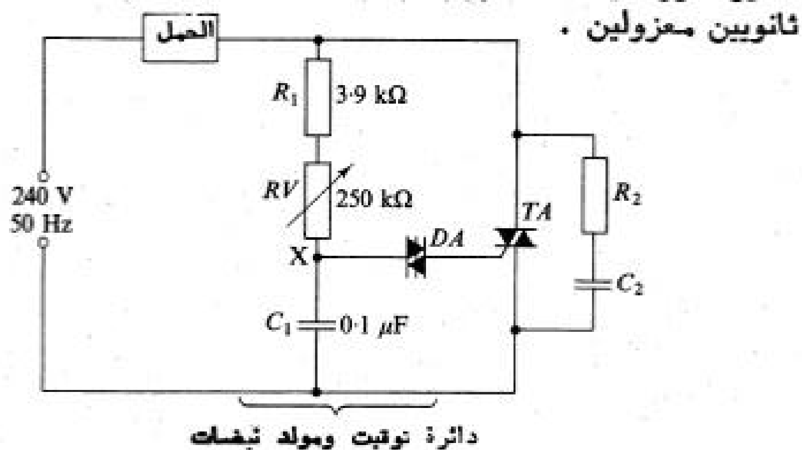
١٥ ـ ١٣ دائرة التربيك احـــادية الطـــور

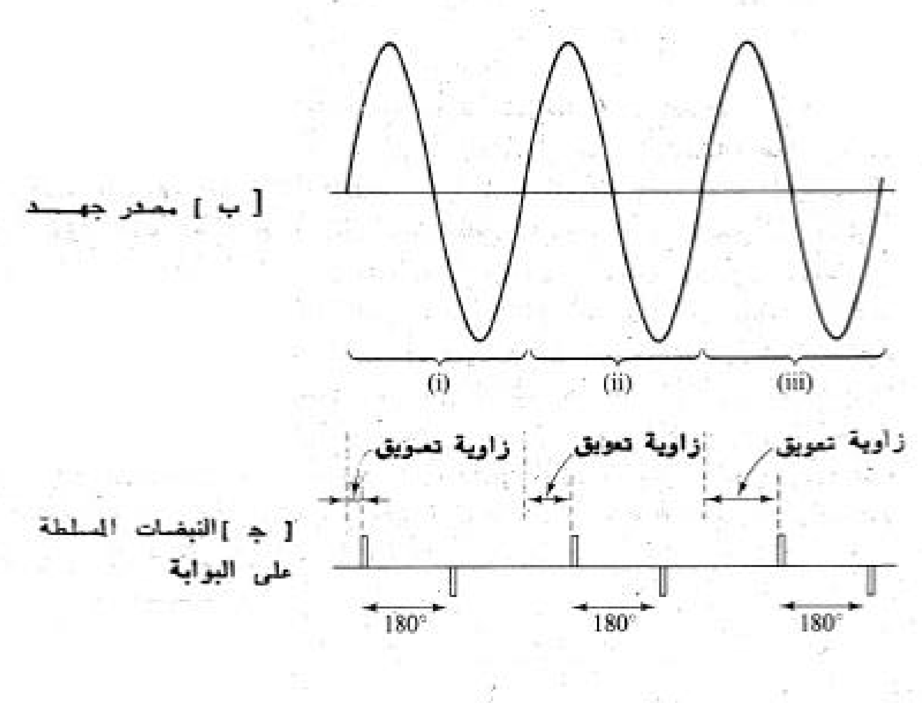
يوضح شكل ١٥ ـ ١٥ [أ] دائرة ترايك احادية الطور يمكن أن تستخدم للتحكم فى انسياب التيار المتردد فى حمل ما ، وتعتبر هذه الدائرة اساسا لطرق كثيرة للتحكم فى الاضاءة . ويمكن التحكم فى قيمة ج.م.م تيار الحمل بواسطة مولد النبضات الذى يتضمن الدايك DA ، والذى تم شرح طريقة تشغيله فى الجزء ١٣ ـــ ١١ من الفصل الثالث عشر . وفى هذه الحالة ، يسلط جهد تيار متردد على دائرة التوقيت [المكونة من R_1 و RV و C_1] بحيث تكون قطبية النقطة X موجبة فى النصف الموجب لدورة الشكل الموجى للمصدر وسالبة فى النصف السالب للدورة . وكنتيجة لذلك ، تتخذ قطبية نبضية بوابة الترايك قطبية متبادلة بين الموجبة والسالبة لجميع انصاف الدورات المعنية من الشكل الموجى للمصدر [أنظر شكل ١٥ ـــ ١٥ [ج]] .

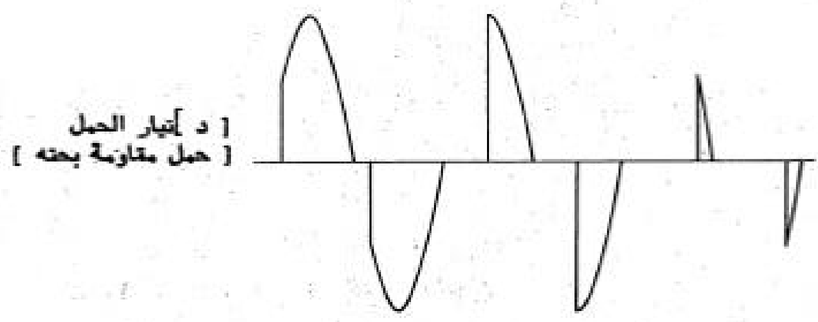
وتتعرض وحدات الترايك لانطلاق خاطىء نتيجة جهود عابرة ويمكن وقايتها ضد هذا التأثير بواسطة شبكة مكونة من مقاومة ومكثف R_2 C_2 . تقلل هذه الشبكة من معدل ارتفاع الجهد بين طرفى الترايك الى قيمة مقبولة . وتعرف هذه الدائرة الاضافية المكونة من R و C بدائرة الصده [الممتصة للصدمات] .

وفى الدورة (i) لشكل ١٥ ـ ١٥ [ب] يشعل الترايك للتوصيل عنـــد نقطة مكبرة فى كل من نصفى الدورة ويتخذ الشكل الموجى للخرج [الرسم التخطيطى د] شكلا مقاربا للشكل الموجى وفى الدورة (ii) من نفس الشكل تزداد قيمة RV بحيث تصبح زاوية التعويض فى كل من نصفى الدورة مساوية لـــ °90 . وتقل قيمة ج.و.ر تيار الحمل للشكل الموجى (ii) عن قيمة ج.م.م للموجة (i) . وتؤدى زيادة زاوية التعويض [انظر الدورة iii] الى الاقلال من قيمة ج.م.م تيار الحمل .

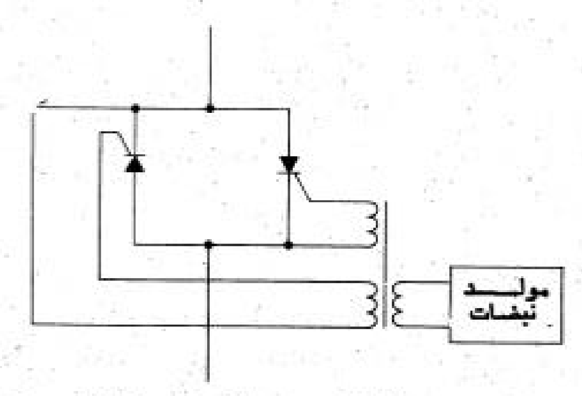
ومن الممكن التوصل الى تحكم مماثل لمـــا وضح سابقا باستخدام وحدتى ثايرستور موصلتين على التوازى وبحيث يعاكس كل منهما الاخر كما هو موضح فى شكل ١٥ ـــ ١٦ . ويستخدم مولد نبضات واحد لاطلاق وحدتى الثايرستور حيث تمد البوابة بالنبضات عن طريق مولد نبضات ذى ملفين ثانويين معزولين .







شكل ١٥ ــ ١٥ دائرة اساسية [احــادية الطور للترايك]

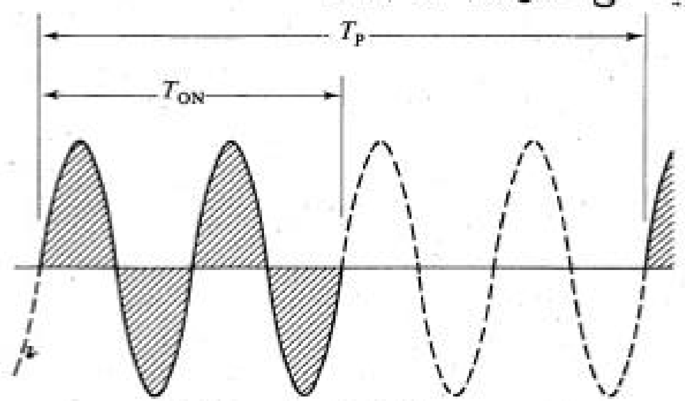


شكل ١٥ ــ ١٦ وحدتى ثايرستور موصلتين على التوازى ومتعاكستين

١٥ ــ ١٤ التحكم فى تفجير الاشــــعال

من احدى عيوب طرق التحكم الطورى السابق توضيحها ان التغير السريع للجهد والتيار نتيجة لوصل الثايرستور (ON) عند منتصف الدورة يمكن ان يولد تداخلات لترددات اللاسلكى .

ومن الممكن استخدام طريقة اخرى بديلة تعرف باسم تفجير الاشـــعال [تعرف ايضا باسم الاشعال ، عند نقطة الصفر واسم الاشعال عند جهـــد الصفر واسم اشعال الدورة الكاملة] فى بعض الحالات للتغلب على هـــذه المشكلة . وفى هذه الطريقة من التحكم ، تطلق وحدات الثايرستور او الترايك الى التوصيل عند بداية الدورة اى عندما يكون جهد المصدر يساوى الصفر ، وتستمر فى حالة التوصيل لعدد من انصاف دورات الشكل الموجى لجهد المصدر . وبعد هذه الفترة من التشغيل ، يسمح بايقاف وحدات الثايرستور (OFF) ويستمر الحفاظ على حالتها من الاعاقة لبضعة انصاف دورات اخرى. وبعدئذ يستمر تكرار تتابع الوقائع سالفة الذكر . وعندئذ ، تعتمد القيمة الفعالة لتيار الحمل على ذلك الجزء من التتابع الذى يصبح الثايرستور عنده فى حالة توصيل . وعلى سبيل المثال ، توجد ثمان انصاف دورات التتابع الكامل المبينة فى شكل ١٥ ــ ١٧ .



شكل ١٥ ــ ١٧ التحكم فى تفجير الاشعال

فاذا كان الزمن الذى توصل فيه وحدات الثايرستور هو Ton ، فان قيمة ج.م.م جهد الحمل V_O تكون :

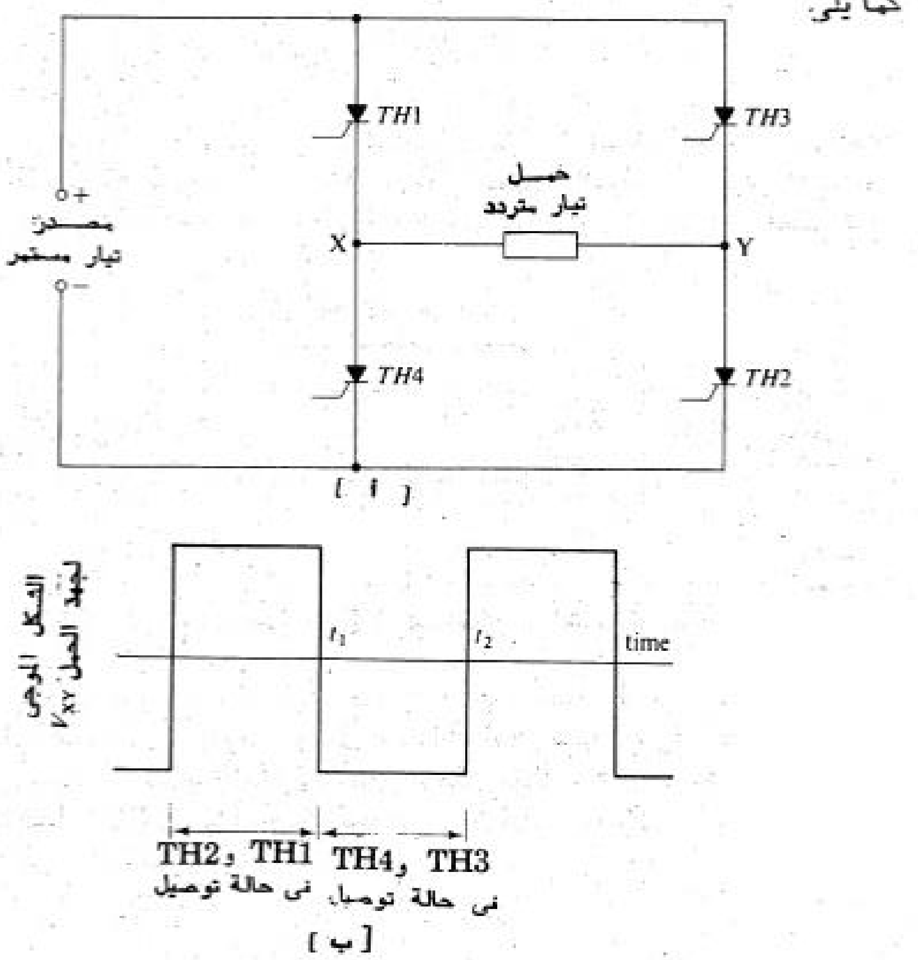
$$V_O = V_S\sqrt{\left(\frac{T_{ON}}{T_P}\right)} = V_S\sqrt{\frac{4}{8}} = 0{\cdot}707V_S$$

حيث V_S هى قيمة ج.م.م جهد المصدر و T_P هى الزمن الـــدورى للتتابع الكامل .

هذا ويتلائم التحكم فى تفجير الاشعال جيدا مع الاحمال ذات الثابت الزمنى الطويل نسبيا ، مثل التحكم فى الافران . ومع ذلك ، فهى لا تتلائم مـــع تطبيقات اخرى مثل التحـــكم فى الاضاءة والتحكم فى سرعة المحرك الكهربائى ، حيث أن الدخل الدفعى للقدرة يحدث تغيرات ملحوظة فى الخرج.

١٥ ــ ١٥ وحدات الثايرستور العاكسة

العاكس هو دائرة تحول قدرة تيار مستمر الى قدرة تيار متردد ، وتعتبر الدائرةالقنطرية فى شكل ١٥ ــ ١٨ [أ] مثالا على ذلك . وتعمل الدائرة كما يلى:



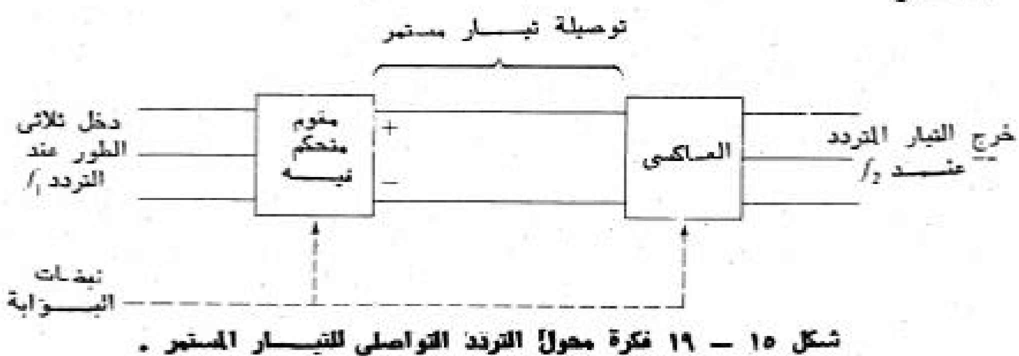
شكل ١٥ ــ ١٨ دائرة قنطرية أساسية للعاكس

وتدار ازواج الثايرستور المتقابلة قطريا الى حالة التوصيل بالتتابع . ففى اول الامر توصل وحدتا الثايرستور TH1 و TH2 (ON) فى آن واحد وفى نفس الوقت تكون كل من TH3 و TH4 فى حالة قطع . واثناء هذه الفترة من التشغيل ينساب التيار خلال الحمل من X الى Y . وعند الزمن t_1 [الرسم ب] يدفع التيار بالقسر خلال TH1 و TH2 الى قيمة الصفر قبل ان يطلق كل من TH3 و TH4 الى حالة التوصيل . وللتبسيط حذفت تفاصيل دائرة توحيد التيار . وعندما يصبح كل من TH3 و TH4 فى حالة التوصيل ، ينعكس اتجاه انسياب التيار خلال الحمل . وعند الزمن t_2 [الرسم ب] ، يدفع التيار المار خلال TH3 و TH4 الى قيمة الصفر ، ويوصل كل من TH1 و TH2 (ON) مرة اخرى . ويصبح الشكل الموجى للجهد بين طرفى الحمل عبارة عن موجة مربعة كما هو موضح فى الشكل ١٥ ــ ١٨ [ب] ، حيث لا يؤدى مظهرها الى تأثيرات سقيمة ظاهرة على الاحمال الصناعية كالموتور الحثى مثلا .

ويمكن الحصول على خرج ذى شكل موجى جيبى بتعديل دائرة العاكس وتستخدم العواكس من هذا النوع بكثرة كمصادر قدرة احتياطية تستخدم فى حالة حدوث عطل فى مصدر القدرة . فالعاكس يهيىء مصدرا للقدرة للوحدات الصناعية الاساسية تستمر عادة من البطاريات .

١٥ ـ ١٦ محولات [مغيرات] التردد

تستخدم محولات التردد فى المنشآت الصناعية لتهيئة القدرة لمحركات الادارة الكهربائية بسرعات مختلفة . ففى محول التواصل للتيار المستمر فى شكل ١٥ ــ ١٩ ، توجد توصيلة تيار مستمر مقوم ثايرستور متحكم فيه وعاكس



شكل ١٥ ــ ١٩ فكرة محول التردد التواصلى للتيـــار المستمر .

وهنا يعطى المقوم المتحكم فيه مصدرا متغيرا لجهد التيار المستمر والذى يسلط على العاكس . ويؤدى وصل وحدات الثايرستور فى المحول ON و OFF ، بمعدلات متغيرة ولكن يمكن التحكم فيها ، الى توليد خرج تيـــار متردد بترددات متغيرة بواسطة المحول . ويمكن الحصول على خرج جيبى بتعديل دائرة العاكس .

الفصل السادس عشر

معدات الاختبار

تختلف أنواع الاختبارات التى تجرى بالنسبة للدوائر الالكترونية قليلا جدا عن تلك التى تتعلق بالدوائر الكهربائية بصرف النظر عن مقدار الكميات المتضمنة . اى ان كلا المهندسين الالكترونى والكهربائى يهتمان بقياس الجهد والتيار والمقاومة والمحاثة والسعة والتردد ... الخ . وفى هذا الفصل ، ستناقش الانواع الرئيسية من معدات الاختبار ، مع الاشارة فى نفس الوقت الى ما يحد من استخداماتها .

١٦ ـ ١ المعدات المطلوبة فوق منضدة الاختبار

لعل اكثر اجهزة المنضدة اهمية هو مقياس متعدد المدى لكلا التيارين المتردد والمستمر صالح لقياس التيار والجهد والمقاومة [يعرف باسم الافو AVO] *

فاذا لم يتواجد فوق منضدة التشغيل سوى جهاز وحيد ، فان انسب نوع على وجه الاطلاق هو جهاز قياس ذو الملف المتحرك . وتهىء الاجهزة المزودة بطريقة رقمية للعرض عرضا واضحا ودقيقا ، لكن دوائرها معقدة ، وتتطلب خدمات احد الفنيين ممن هم على درجة عالية من المهارة فى حالات الصيانة او التصليح .

بالاضافة الى جهاز الملف المتحرك المتعدد المدى والمألوف ، فان الفولتميتر الالكترونى [معه مقياس بملف متحرك] ذو معاوقة الدخل المرتفعة القيمة ، يعتبر واحدا من الموجودات القيمة .

وتأتى مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات (CRO) ، على درجة عظيمة فى ترتيب الاهمية ، حيث من الممكن ان تستخدم لمتابعة الاشكال الموجية ، بالاضافة الى امكانية استعمالها كجهاز للقياسات . فباستخدام هذه المرسمة، يمكن قياس كميات مثل الجهد مع الفترة الزمنية وبطريقة مباشرة وعند الاستعانة بمعدات اخرى مع هذه المرسمة ففى الامكان القيام بقياس التيار والمقاومة وكميات اخرى .

---

* هذا هو الاسم الدارج فى المنطقة العربية فى رأى المترجم وهو يختلف عن VOM الاسم الذى الذى ذكره المؤلف .

وان اضافة اخرى مفيدة فوق منضدة التشغيل لتمثل فى مذبذبات الترددات السمعية او مولد الاشارات والقادر على توليد موجات جيبية وموجات مربعة فى ذلك المدى من الترددات الذى يبدأ من حوالى 10 Hz وينتهى 100 k Hz او اكثر .

لكن . يمكن القيام ببعض الاختبارات البسيطة ، فى بعض الحالات ، باستخدام المقياس متعدد المدى .

ومى احوال اختبار المعدات او صيانتها ، فان مصدر القدرة المتحرك يعتبر واحدا من الموجودات الهامة اللازمة . ومن الممكن أن يكون هذا المصدر اى شىء ابتداء من صندوق بـبضعة بطاريات جافة الى مصدر قدرة مستقر ومزود بامكانيات للوقاية فى حالة زيادة التيار وزيادة الجهد .

ولا ينبغى ان تخلو منضدة التشغيل من تنويعة اجهزة واجبة منها صناديق المقاومات والمكثفات الابدالية تحتوى على مقاومات ومكثفات بقيم حيث يمكن انتقاء المقاومات بواسطة مفاتيح . ومن الممكن استخدام هذه الصناديق فى حالة تصميم دوائر جديدة بالاضافة الى امكانية استخدامها كبدائل مؤقتة لوحدات تالفة وعلاوة على ذلك ، يحتاج مهندسى الخدمة الى كاويتى لحام [واحدة منها منخفضة التقنين لاشغال الدوائر المتكاملة الدقيقة] مفكات ، وزرديات ، وحدات نزع الاسلاك ، قواطع مفاتيح ربط من النوع المفتوح والنوع المقفول ، وكذلك مفاتيح الزاوية المسدسة allen keys

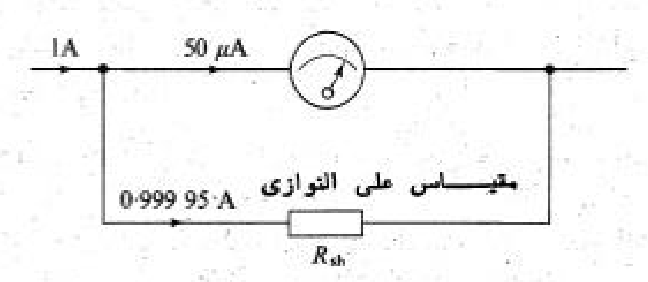
فاذا ما انشئت ورشة اكثر شمولا ، فينبغى أن تتضمن اجهزة اختبار بالصمامات وبالترانزستور ، مرسمات المنحنى بالترانزستور ، اجهزة قياس التردد الرقمية وكذلك العدادات وساعات التوقيت .

١٦ ــ ٢ أجهزة قياس الملف المتحرك متعددة المدى

نظرا لان المقاومات فى كثير من الدوائر الالكترونية تتخذ قيما عالية جدا ، تعادل فى الغالب عديدا من آلاف من وحدات الاوم او حتى بضعة ملايين من وحدات الاوم ، فان مستويات قيم التيار المتضمنة تصبح منخفضة فى الواقع على الوجه ومن الافضل ، أن يعطى أى جهاز متعدد المدى ، يستخدم لقياس التيار فى هذه الدوائر ، بالضرورة ، انحرافا عبر كل المقياس [(F.S.d)] لمدى التيار المستمر الاكثر حساسية وبتيار قدره 50 μA او اقل . ويبلغ مقدار المقاومة المقاسة بين طرفى جهاز شائع من مثل هذا النوع ما قيمة 2500 Ω بالنسبة لمدى التيار 50 μA مما يعطى فرق جهد عبر الجهاز مقداره 0·125 V فى حالة الانحراف عبر كل المقياس . ومن الممكن أن يشكل مثل هذا النوع من المقياس الاساسى الذى يعمل عليه جهازا متعدد المدى لكلا التيارين المتردد والمستمر . وسيوصف فيما يلى طريقة استخدام الجهاز لقياس القيم المختلفة للتيار والجهد والمقاومة .

مـــدى قياســات التيـــار : لنفترض انه من المطلوب تحـــويل جهاز يعطى انحرافا عبر كل المقياس عند مرور تيار قدره 50 μA الى مقياس

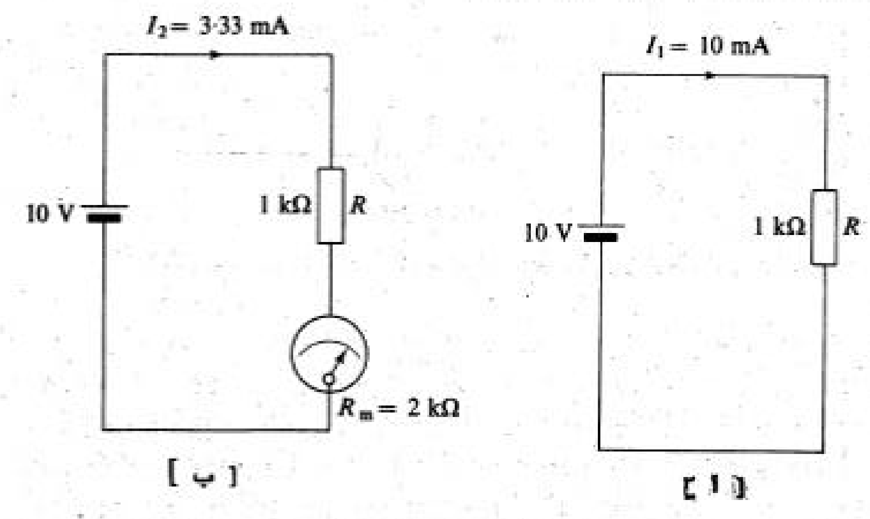
يعطي انحرافا عبر كل المقياس عند مرور تيار قدره 1 A فمن الممكن الاستعانة بشكل ١٦ ـ ١ لتوضيح الطريقة التى تتبع لتحقيق هذا الغرض .



شكل [١٦ ـ ١] فى مدى التيار جهـاز الملف المتحرك

فلهذا الغرض يتم توصيل R_{sh} على التوازى مع المقياس بحيث يمر الجزء الاكبر من التيار خلال المجزىء . وفى الحقيقة ، تبلغ قيمة التيار المـــار بالمجزىء ما مقداره 0.99995A بينما يمر تيار قدره 50 μA فقط خلال الملف المتحرك داخل المقياس . ومن الممكن استخدام تيار قيمته 50 μA خلال الملف المتحرك ، فيما يتعلق بأجهزة القياس التجارية ، ليمكن قياس تيارات تتراوح قيمتها بين 50 μA الى بضعة وحدات من الامبير . ومن الواضح ، ان قيمة مقاومة المجزىء اقل مقدارا من قيمة مقاومة ملف القياس المتحرك ، كما وان قيمة معامل المقاومة مع درجة الحرارة ينبغى ان تتخذ بالمثل قيمة صغيرة جدا من اجل الحفاظ على درجة دقة الجهاز عبر مدى واسع لتغير درجة الحرارة .

وينبغى ان تتخذ الاحتياطات عند قياس قيمة التيار فى الدوائر الالكترونية والا قد تغير مقـــاومة المقياس نفســـه من قيمة تيار الدائرة كما يتضح فى شكل ١٦ ـ ٢ افترض أن التيار المار فى الدائرة ١٦ ـ ٢ [أ] هـــو المراد قياسه . القيمة الفعلية لهذا التيار هى



شكل ١٦ ـ ٢ وضع يمكن أن يؤدى الى اخطاء عند قياس التيار فى دائرة الكترونية الحقيقية للتيار المار فى الدائرة تكون ،

$$I_1 = \frac{V}{R} = \frac{10\ \text{V}}{1 \times 10^3\ \Omega} = 10^{-3}\ \text{A or } 10\ \text{mA}$$

فاذا كان هناك جهاز واحد فقط متاح ذو مقاومة داخلية قدرها 2 kΩ فان التيار الذى يشير اليه المقياس ، عندما يتم توصيله مع الدائرة [انظر شكل ١٦ — ٢ [ب] يكون

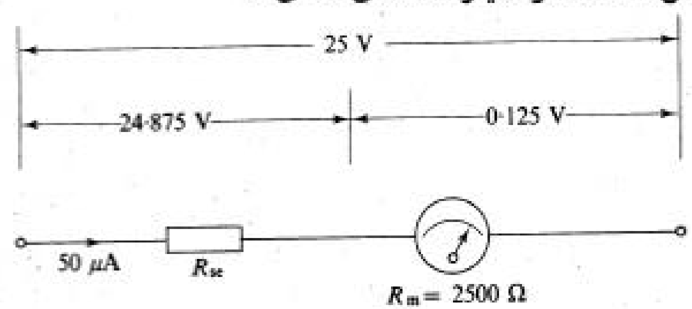
$$I_2 = \frac{10\ \text{V}}{R + R_m} = \frac{10}{3 \times 10^3} = 3{\cdot}33 \times 10^{-3}\ \text{A or } 3{\cdot}33\ \text{mA}$$

حيث R_m هى مقاومة الملف المتحرك بالجهاز . وتصبح القيمة التى يشير اليها الجهاز أقل بمقدار 67% من القيمة الصحيحة .

ولكى لايؤثر الاميتر [او الميكروأميتر] فى احوال الدائرة، ينبغى أن تقل مقاومته بكثير جدا عن مقاومة باقى اجزاء الدائرة . وفى المثال الموضح عاليه . فمن الافضل ان لا تكون مقاومة الاميتر المستخدم ، قد اتخذت قيمة اكبر من حوالى 10 Ω .

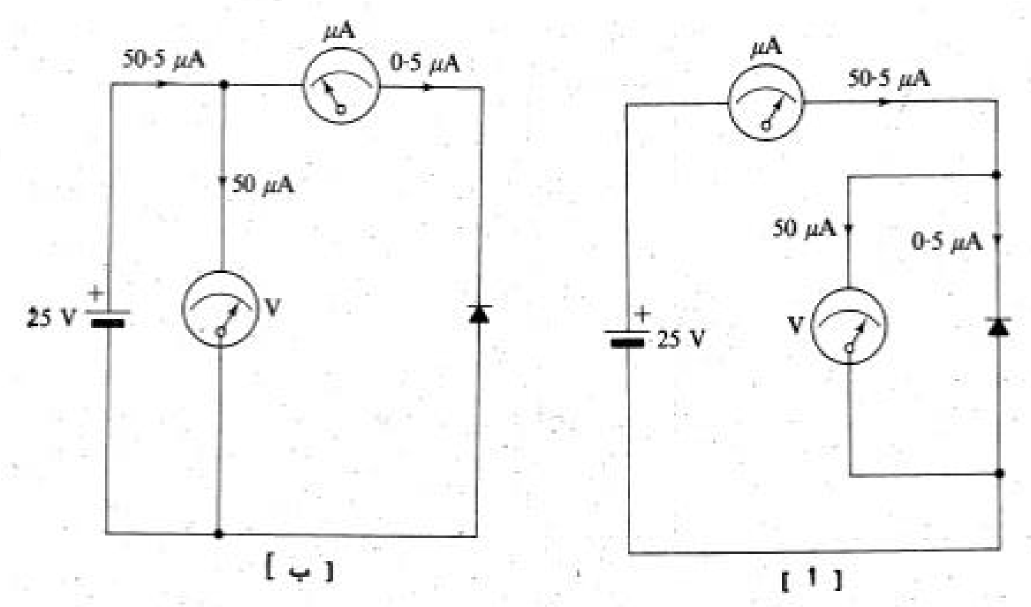
مدى قياسات الجهد : لنفترض انه من المطلوب تحويل المقياس بتيار 50 μA . الى فولتميتر — لانحراف عبر كل المقياس قيمته 25 V . ويوضح شكل ١٦ — ٣ الاساس الذى تبنى عليه هذه الدائرة ، اذ توصل المقاومة الهبوطية R_{se} على التوالى مع المقياس بحيث يصبح فرق الجهد عبر R_{se} مساويا لـ [فرق الجهد عبر المقياس — 25] فولت .

فاذا كان فرق الجهد عبر الجهاز يساوى 0.125V عند الانحراف عبر كل المقياس ، فان فرق جهد الجهد عبر R_{se} يساوى 24.875 V عند مرور تيار مقداره 50 μA ، بمعنى أن قيمة R_{se} تكون $24{\cdot}875/50 \times 10^{-6} = 497\ 500\ \Omega$ وباستخدام قيم مختلفة ومتعددة للمقاومة R_{se} ، يمكن انشاء فولتميتر متعددى المدى .



شكل ١٦ — ٣ دائرة تستخدم لتحويل مايكرو اميتر الى فولتميتر .

وبالرغم من أن الفولتميتر الذى سبق عرضه لا يتطلب سوى تيار قيمته 50 μA لكى يعطى انحرافا عبر كل المدى ، فان الاستخدام الخاطىء للجهاز قد يعطى نتائج مضللة فى بعض الدوائر . فمثلا ، اذا استخدمت الدائرة الموضحة فى شكل ١٦ — ٤ [أ] لتحديد قيمة تيار التسرب من الدايود فاننا نتحصل على نتائج غير صحيحة نظرا لان الميكرواميتر يقرأ مجموع تيار التسرب من الدايود وتيار الفولتميتر . ويمكن الحصول على نتيجة دقيقة .



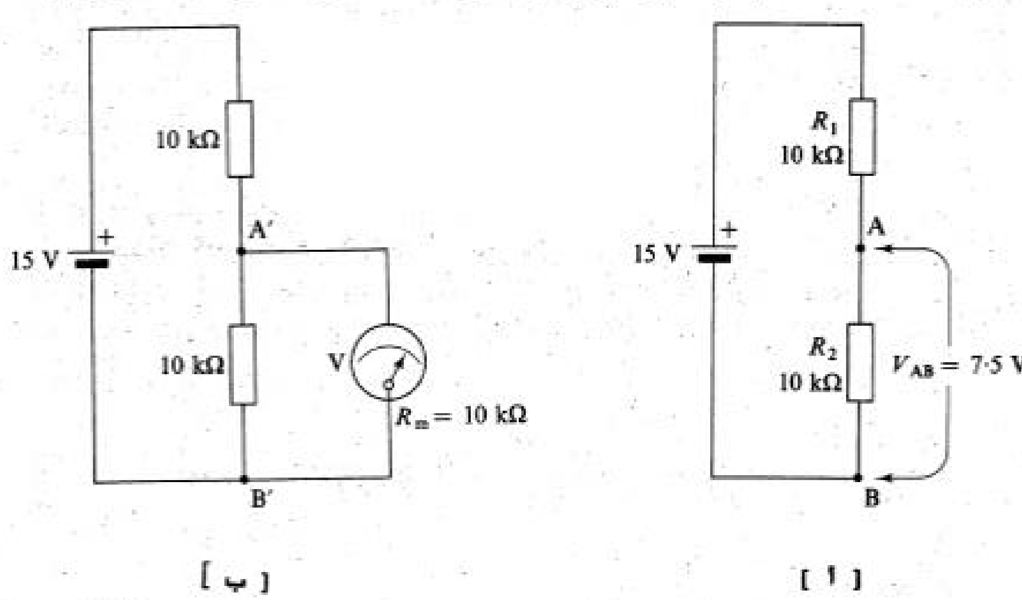
شكل ١٦ ــ ٤ من الممكن أن تؤدى الدائرة [أ] لاخطاء فى القراءات عند تحديد قيم صغيرة لتيار مار فى دائرة الكترونية .

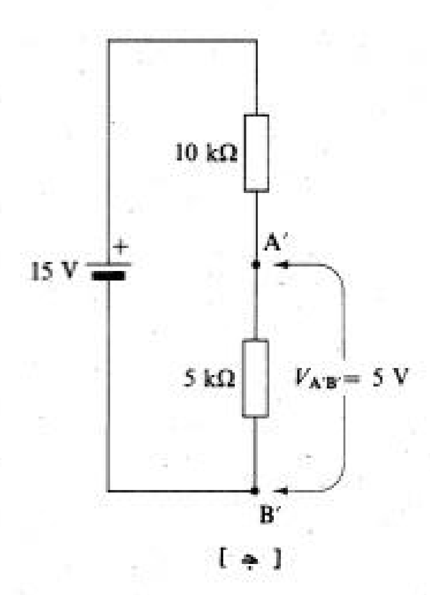
بتعديل الدائرة لتصبح كالموضحة فى شكل ١٦ ــ [ب] حيث يمر تيار الترسب للدايود بالنسبة لهذه الدائرة خلال الميكرو أميتر .

ويوضح شكل ١٦ ــ٥ وضعا يؤدى الى أخطاء فى قراءات الجهد فى بعض الحالات ففى شكل ١٦ ــ ٥ [أ] ، يكون الجهد بين نقطة **A** ونقطة **B**

$$V_{AB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times 15\text{ V} = \frac{10}{20} \times 15 = 7{\cdot}5\text{ V}$$

ولنفترض انه قد اتخذت محاولة لقياس هذا الجهد بواسطة فولتميتر بمقاومة داخلية مقدارها 10 kΩ ، كما هو موضح بشكل ١٦ ــ ٥ [ب] . ففى هذه الحالة ، يقلل الفولتميتر من القيمة الفعلية لمقاومة الدائرة بين





[جـ]

شكل ١٦ ــ ٥ امكانية حدوث اخطاء فيقراءات الفولتميتر باستخدام فولتميتر بمقاومة داخلية اقل كثيرا من اللازم .

النقطتين ′A ، ′B في الشكل ١٦ ــ ٥ [ب] الى 5 kΩ والموضحة في الشكل ١٦ ــ ٥ [جـ] . وتعطى قيمة الجهد $V_{A'B'}$ ، التى يشير اليها الفولتميتر هكذا .

$$V_{A'B'} = \frac{5}{5 + 10} \times 15 = 5\ V$$

ولكى يعطى الفولتميتر بيانا صحيحا لقيمة الجهد ، ينبغى أن تزيد مقاومته الداخلية كثيرا جدا عن المقاومة التى يقاس الجهد بين طرفيها . فمن الافضل فى الحالة الموضحة بالشكل ١٦ ــ ٥ [أ] ، أن تزيد مقاومة الفولتميتر الداخلية ، بالضرورة ، عن مائة ضعف قيمة المقاومة المقاسة بين نقطتى A و B ، اى أن المقاومة الداخلية يتحتم أن تعادل 1 MΩ او اكثر هذا وينبغى استخدام فولتميتر الكترونى ، كلما امكن ذلك ، حيث ان مقاومته الداخلية ذات قيمة مرتفعة للغاية .

وتعطى قيمة مقاومة الجهاز الفعلية ، دائما وأبدا ، بوحدات الاوم بالنسبة الى وحدات الفولت عن الانحراف عبر كل المقياس . وتمثل هذه القيمة مقلوب قيمة التيار اللازم لكي يسبب انحرافا عبر كل المقياس . وهكذا ، يوصف مقياس بملف متحرك ذو تيار قدره 50 µA . وكأن له 20 000 Ω/V للملف المتحرك ، حيث

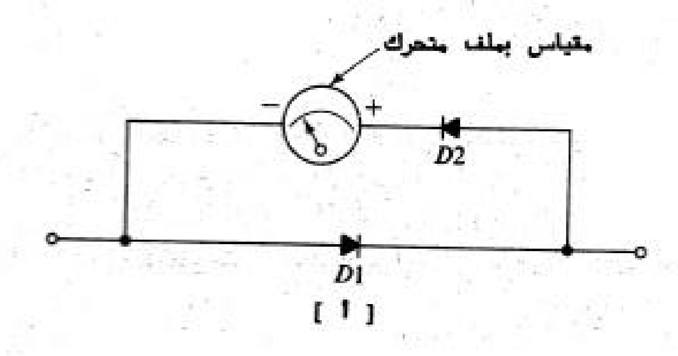
$$\frac{1}{50\ \mu A} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = 20\,000\ \Omega/V$$

وعندما يستخدم مع مدى للجهد تدره 25 V عند الانحراف عبر كل المقياس، فان مقاومة الجهاز تعادل $500\,000\,\Omega = 20\,000 \times 25$ وان جهازا من هذا الطراز يعتبر مناسبا لاغراض القياس الاساسية ، ولكن تحت القيود الموضحة عاليه .

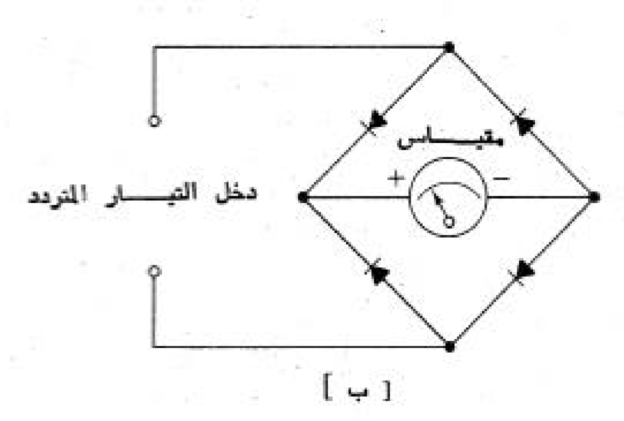
مدى قياسات التيار المتردد : تستخدم الاجهزة التى تقيس التيارين المتردد والمستمر على الدوام ، مجموعة الملف المتحرك مع مقوم [اما للموجة النصفية او للموجة الكاملة] . وقد اسس تدريج التيار المتردد للمقياس بافتراض الشكل الموجى للاشارة المراد قياسها تتخذ شكلا جيبيا . فاذا لم يكن هذا هو الحال ، اصبحت القراءات خاطئة .

يوضح شكل ١٦ ــ ٦ [أ] دائرة موجة نصفية تستخدم فى صور شتى لاجهزة صغيرة متعددة المدى تصلح لكلا التيارين المتردد والمستمر . وفى هذه الدائرة ، يقوم الدايود $D1$ بتفويت المقياس خلال نصف دورة من موجة التيار المتردد ، لكن التيار يمر فى المقياس خلال النصف الاخر من الدورة عن طريق $D2$. ويوضح شكل ١٦ ــ ٦ [ب] دائرة مقوم للموجة الكاملة . وغالبا ما تتم معايرة الاجهزة متعددة المدى لتستخدم مع 50 Hz الا انه من الممكن استخدام انواع جيدة من هذه الاجهزة لمدى الترددات التى تبدأ من 15 Hz الى 15 KHz .

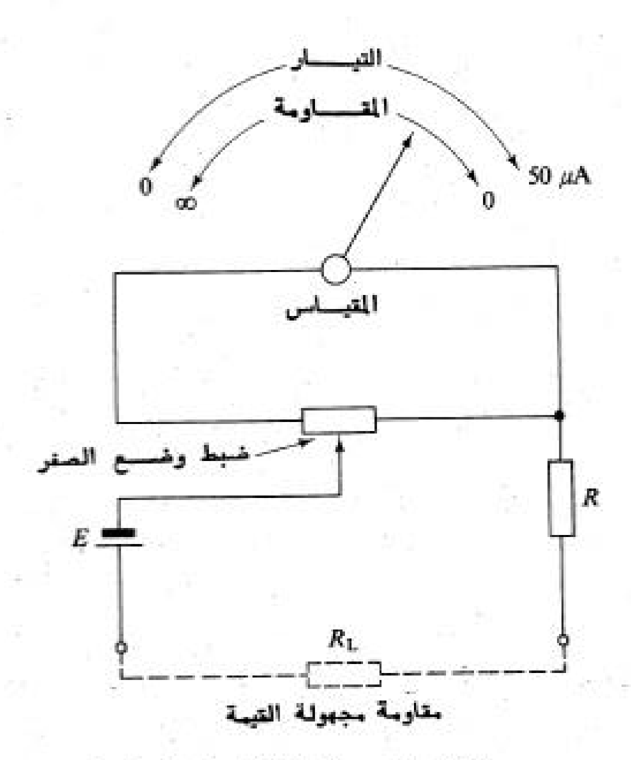
مدى قياسات المقاومة : من الممكن قياس قيمة المقاومة المجهولة بتحديد مقدار التيار المار بالمقاومة اذا ما تم توصيلها لمصدر جهد . ويوضح شكل ١٦ ــ ٧ فكرة عمل كثير من دوائر الاوميتر . فبيان حرف الصفر O باللغة الانجليزية فوق تدريج الاوم للجهاز تتمشى مع تلك الحالة التى يمر بها تيار يعطى انحرافا عبر كل المقياس . ويتم ضبط وضع صفر الجهاز باحداث قصر عبر طرفى الاختبار للجهاز مع ضبط منزلق مقياس الجهد RV حتى يظهر المؤشر انحرافا عبر كل المقياس [أى يشير الى الصفر فوق تدريج الاوم] . فاذا ما تم توصيل مقاومة مجهولة R_L لطرفى اختبار الجهاز فان قيمة المقاومة تظهر فوق مقياس مدرج بقيم المقاومات .



[أ]



شكل ١٦ ــ ٦ ترتيبة مبسطة لدائرة مقوم موجة نصفية [ب] دائرة موجة كاملة .



شكل ١٦ ــ ٧ دائرة أوميتر أساسية

مقابيس الاختبار متعددة المدى : المقياس المتعدد هو جهاز اختبار متعدد الاستعمال ، بحيث يسمح بقياس مدى واسع من القيم للتيار والجهد والمقاومة . وتتم هذه العمليات فى العادة عند زوج من أطراف الجهاز ، حيث يوضع المقياس طبقا للكيفيات المختلفة بواسطة مفاتيح فوق غطاء الجهاز .

ويبلغ طول مقياس الجهاز من النوع الجيد حوالى 125 مليمتر ، ويتضمن

المقياس مرآة لتمكين مستخدم الجهاز من محو القراءات الخاطئة نتيجة اختلاف المنظر وقد تكون حدود المدى الشائعة هى

الجهد [للتيارين المتردد والمستمر] — 1000 V و 300 V و 100 V و 30 V و 10 V و 3 V و 1 V .

التيا [تيار مستمر] 10 A و 1 A و 100 mA و 10 mA و 1 mA و 300 µA و 50 µA .

التيار [تيار متردد] — 10 A و 1 A و 100 mA .

المقاومة — ثلاثة حدود للمدى 0–20 MΩ و 0–0.2 MΩ و 0–2 kΩ [المدى المعتاد او مدى « اوم » [(ohms)] هو المدى [0–0.2 MΩ] .

ويمكن مد حدود المدى الموضحة عاليه بواسطة مضاعفات ومجزئات ومحولات تيار .

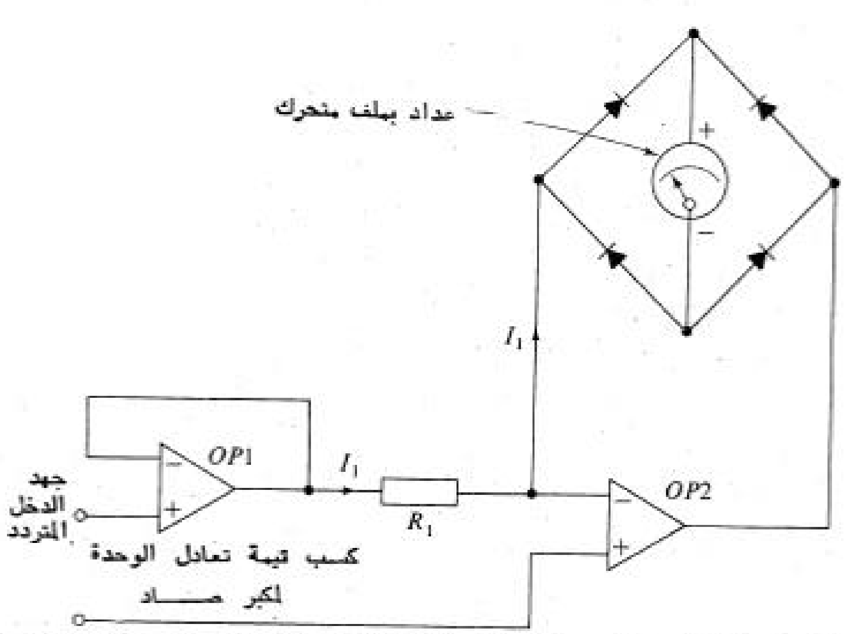
وتوصل البطارية الداخلية بحيث يتخذ الطرف بالعلامة "+" تطبية سالبة، ويتخذ الطرف بالعلامة "—" تطبية موجبة ، وذلك اذا وصل الجهاز طبقا لمدى اوم ؛ ففى حالة توصيل مقاومة بين طرفى الجهاز تكفل هذه التطبيات مرور التيار داخل الطرف "+" من الجهاز ليكفل بدوره انحراف المؤشر فى الاتجاه الصحيح . وعند التوصيل لمدى « اوم » فان قيمة المقاومة الداخلية لجهاز يشبع استعماله من النوع الجيد تبلغ حوالى 2 kΩ بينما تبلغ قيمة الجهد الطرفى عند فتح الدائرة حوالى 1.6 V .

١٦ — ٣ أجهزة الفولتميتر الالكترونية

عند اخذ القياسات فى الدوائر الالكترونية ، فان للنوع التقليدى من الاجهزة متعددة المدى عيوب متعددة منها الاستجابة الترددية المحدودة وصغر قيمة مقاومتها الداخلية نسبيا . كما وأن الاجهزة متعددة المدى غير صالحة وعلى وجه العموم ، لقياس قيم الجهد الصغيرة جدا .

وتتلخص اجهزة الفولتميتر الالكترونية ، والتى تحتوى مكبرات ، من الصعوبات الموضحة عاليه اذ يبلغ عرض نطاقها عادة بضعة ملايين من الهرتز ومن الممكن ان تصل قيمة المقاومة الداخلية الى 10 MΩ او اكثر . ولمعظم اجهزة الفولتميتر الالكترونية المستخدمة فى الاغراض العامة حدود للمدى ابتداء من 1 mV عند الانحراف عبر كل المقياس الى 500 V عند الانحراف عبر كل المقياس ، بالنسبة لكل جهاز . ويتم تدريج مقاييس التيار المتردد لهذه الاجهزة على أساس اداء القياسات لموجات جيبية فاذا لم يكن هذا هو الحال ، تصبح القراءات غير دقيقة . وبيد انه فى حالة الاجهزة المعقدة التركيب [قراءة الـ ج.م.م الحقيقية ، يمكن الحصول على قراءة ج.م.م حقيقية فى حالة الاشكال الموجية اللاجيبية .

ويوضح شكل ١٦ ــ ٨ فكرة عمل واحد من أشكال الفولتميتر الالكتروني والذى يستخدم اثنين من المكبرات التشغيلية . ويتم توصيل OP 1 بهيئة



شكل ١٦ ــ ٨ أساس عمل واحد اشـــكال الفولتميتر الالكترونى ذى مقاومة الدخل المرتفعة

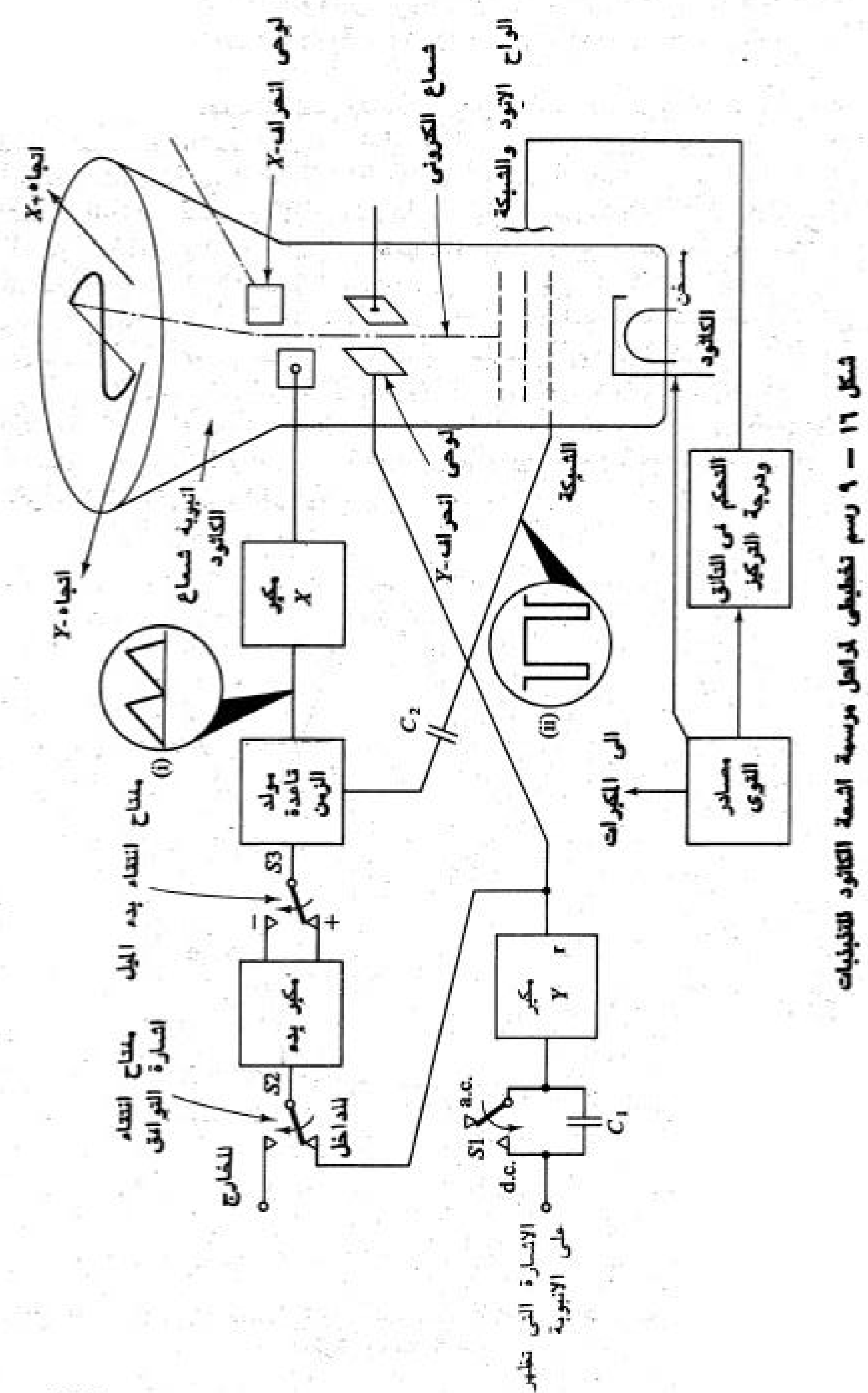
تابع جهدى ، ليعطى كسب جهد تبلغ قيمته الوحدة مع معاوقة دخل لها قيمة عالية جدا . ويمثل المكبر $OP2$ قلب الجهاز النابض ، فالتيار I_1 ، والذى يمر فى R_1 ، يمر ايضا خلال المقياس بالملف المتحرك . فعند قياس كميات تتعلق بالتيار المستمر ، واذا كانت قيمة R_1 تعادل 10 kΩ ، فان تيار المقياس يصبح 0.1 mA لكل وحدة فولت مسلطة عند الدخل . وعند قياس كميات تتعلق بالتيار المتردد ، ينبغى تغير قيمة R_1 لتصبح 9 kΩ حتى تعطى قيمة متوسطة لتيار المقياس تعادل 0·1 mA لكل وحدة فولت ج.م.م مسلطة عند الدخل . ومن الواضح أن قيمة R_1 قد غيرت حتى يمكن أخذ عامل الشكل للموجة الجيبية فى الاعتبار .

١٦ ــ ٤ مرسمات أشعة الكاثود للتذبذبات

تمثل انبوبة أشعة الكاثود قلب الجهاز النابض حيث يؤدى شعاع من الالكترونات الى ظهور نقطة مضيئة فوق شاشة الانبوبة الفلورية [أنظر شكل ١٦ ــ ٩] . وعن طريق التحكم فى حركة النقطة فى كل من اتجاهى X ، Y اى افقيا ورأسيا على التوالى] ، يمكن رسم الاشكال الموجية فوق وجه الانبوبة .

ويتم توصيل الاشارة المراد عرضها لمكبر Y عن طريق المفتـــاح S1 فى شكل ١٦ ــ ٩ . وفى الوضع الموضح ، تنقل الاشارة خـــلال المكثف C_1

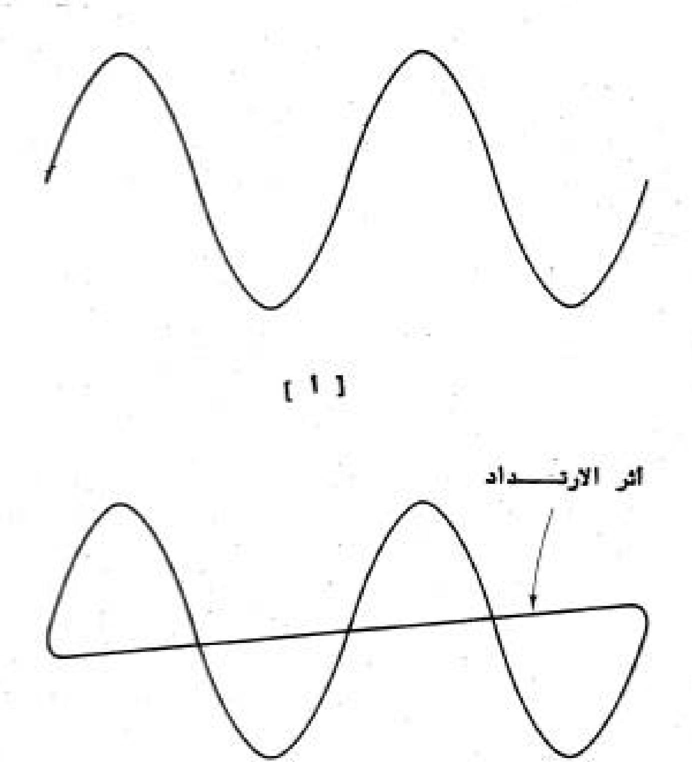
والذى يقوم بدور المكثف عائق التيار المستمر ، بحيث لا يسلط الى المكبر سوى مكونات التيار المتردد من الاشارة . فاذا ما أريد التحقق من اشارة مؤلفة من التيارين المتردد والمستمر ،



شكل ١٦ — ٩ رسم تخطيطي لداخل مرسمة الشعة الكاثود للذبذبات

يتم توصيل $S1$ للوضع d.c عند تسليط الاشارة المؤلفة الى المكبر . ويسلط الخرج من المكبر -Y الى لوحى انحراف -Y ، مما يؤدى الى انحراف الشعاع الالكترونى بالانبوبة فى الاتجاه -Y بمقدار يتناسب مع شدة الجهد المسلط بين اللوحتين . ويتم ايضا تسليط الخرج من هذا المكبر على دائرة قاعدة الزمن عن طريق مكبر بدء ذى وظائف سيتم سردها فيما يلى:

ويتولى جزء الجهاز الخاص بقاعدة الزمن توليد عدد من الاشكال الموجبة لعل اهمها هو الشكل الموجى لقاعدة الزمن والذى يتمثل فى موجة سن المنشار المضمنة فى القطعة (i) شكل ١٦ — ٩ . وتستخدم هذه الموجة لتسبب انحرافا للشعاع الالكترونى داخل الانبوبة فى اتجاه— X ويتولى جزء الجهاز الخاص بقاعدة الزمن بالاضافة ، توليد الموجة لنبضية المضمنة فى القطعة (ii) شكل ١٦ — ٩ ، حيث يتم تسليطها على شبكة الانبوبة عبر C_2 وتعرف الموجة النبضية ايضا ، باسم الموجة النبضية الماسحة ، والغرض منها الاتلال من تالق النقطة المضيئة فوق الشاشة الى درجة الصفر فى الفترة بين نهاية كل مسح فى اتجاه X وبداية المسح التالى . وتسمح هذه الخاصية للمشاهد ان يرى موجة الدخل فقط معروضة فوق الشاشة . ويوضح جزء الشكل ١٦ — ١٠ [أ] ، [ب] عرضين مألوفين باجراء عملية مسح وبدون اجراء اى مسح على التوالى .



شكل ١٦ — ١٠ عرض الاشكال الموجبة [أ] مع تسليط نبضات للمسح ، [ب] بدون تسليط نبضات للمسح .

ويتم التحكم فى المعدل الذى تسمح به النقطة المضيئة شاشة الانبوبة عن طريق تغيير ميل الشكل الموجى لقاعدة الزمن . فكلما زاد الميل .

كلما زادت سرعة مسح النقطة المضيئة عبر الشاشة . ويتم التحكم فى ميل الشكل الموجي لقاعدة الزمن بدوره ، بواسطة دائرة مقاومة ومكثف ، حيث يتاح بضابط لها فوق واجة الجهاز [انظر شكل ١٦ — ١١] .

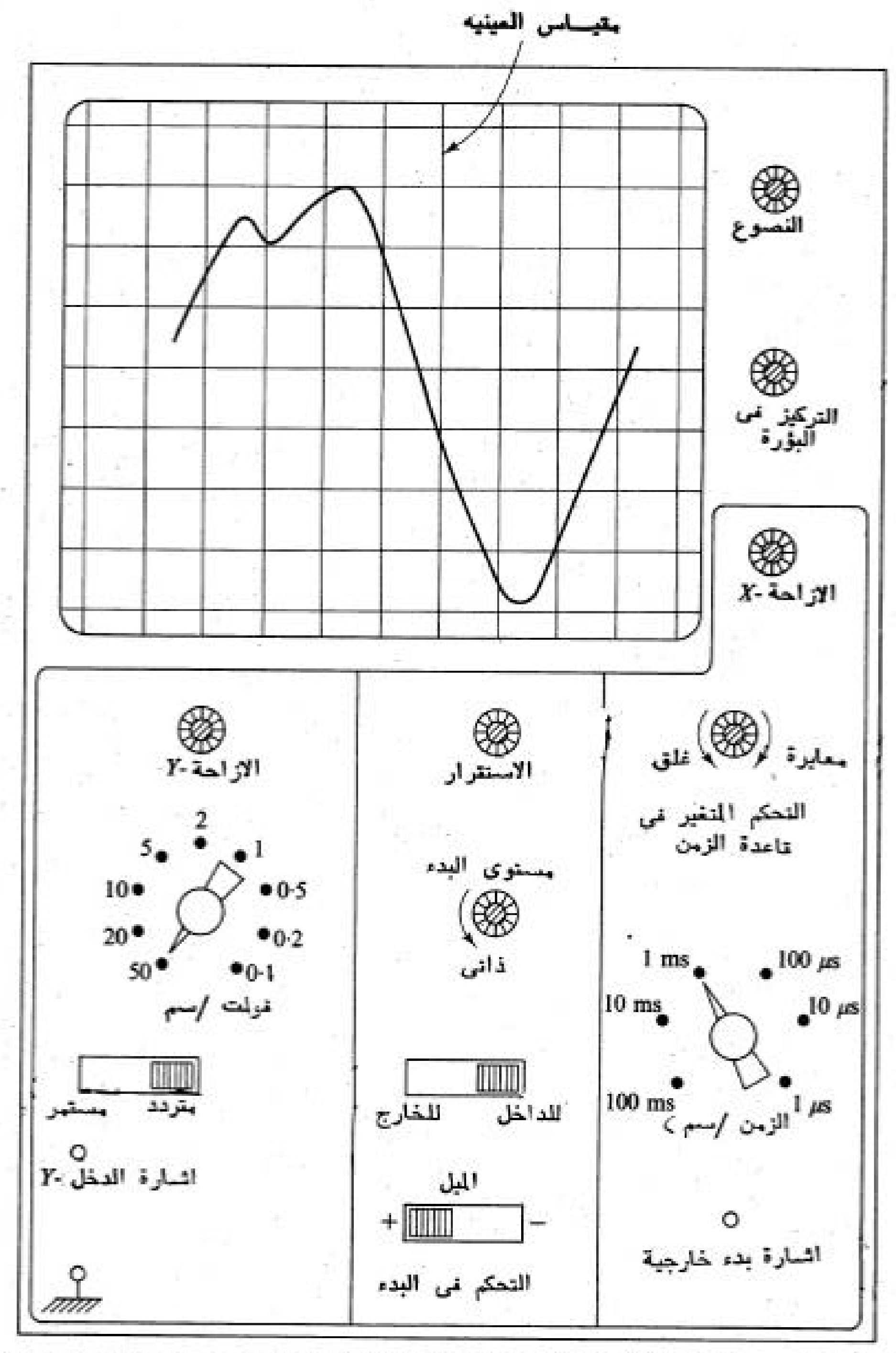
وفى أثناء متابعة الاشكال الموجية ، فمن الانسب دفع قاعدة الزمن لان تبدا عملية المسح عندما يصبح معدل التغير موجب الاشارة . ويوجد مفتاح [S 3 فى شكل ١٦ — ٩] لمعظم مرشحات التذبذبات يسمح تنفيذ هذا الانتقاء . وقد يكون بدء تشغيل قاعدة الزمن عندما يكون ميل الاشارة الواردة سالبا ، ومن الممكن انتقاء هذا البدء بواسطة نفس المفتاح . ويقع هذا المفتاح اسفل لوحة التحكم الوسطى فى شكل ١٦ — ١١ ، وقد وضعت عنده علامتى « + » ، « — » لتشير الى ميل الموجة المعروضة عند لحظة بدء عملية مسح قاعدة الزمن . وحيث أن المفتاح فى شكل ١٦ — ١١ هو عند الوضع « + » ، فان الاثر المعروض يبدأ عند معدل موجب .

غالبا ما يتطلب الامن ان يتزامن العرض فوق الشاشة مة الاشارة المراد مشاهدتها — وتوجد بعض الحالاتحتى يصبح من المرغوب فيه بدء الشكل الموجى لقاعدة الزمن من مصدر اشارات منفصل . وقد زود فى شكل ١٦ - ١٠ ما يسمح بتحقيق هذا الوضع بواسطة المفتاح . اذ انه يسمح بتحول مهمة التحكم في دائرة قاعدة الزمن اما الى الاشارة الواردة او الى اشارة اخرى خارجية .

ويوضح شكل ١٦ — ١١ الواجهة الامامية لنوع مألوف لمرسمات التذبذبات ولمعظم مرسمات اشعة الكاثود للتذبذبات مقياس مدرج] يعرف باسم مقياس العينية] ويبدو فوق شاشة بلاستيك شفافة فى مقدمة انبوبة اشعة الكاثود [الشاشة] . ويسمح هذا باستخدام مرسمة اشعة الكاثود لتذبذبات كجهاز للقياسات. وتتعلق المضابط فى اسفل يسار الواجهة بالمكبر Y، وتحوى مفتاحا للتيارين المتردد والمتغير [S1 فى شكل ١٦ — ٩] ، مع مضبط للكسب — Y [تحت علامة Volts/CM] وضبط الزحزحة — Y . والغرض من مفتاح VOLTS/CM هو تغير كسب جهد المكبر — Y حتى يمكن متابعة الاشارات الصغيرة او الكبيرة المقدار . وفى الوضع المبين 50 V/cm] يمكن التحقق من جهد بين القمتين مقداره

$50\ V/cm \times 8\ cm = 400V$

ويسمح هذا بالتحقق من الشكل الموجى لجهد المصدر 220 V ج.م.م يصبح الجهد بين القيمتين فى هذه الحالة $240 \times 2\sqrt{2} = 679\ V$] . [فاذا ادير مفتاح الـ VOLTS/CM الى وضعه الـ 0.1 ، فان هذا يؤدى الى انحراف — Y كلى مقدار 1 cm عند اشارة 100 mV بين القمتين . ويستطيع مشغل الجهاز أن يزحزح كل الاثر اما الى اعلى او الى اسفل فى الاتجاه — Y بواسطة المضبط — Y المتغير .



شكل ١٦ — ١١ الواجهة الامامية لمرسمة تذبذبات مالوفة بحزمة موجية واحـــدة .

وتسمح المضابط المتغيرة تحت الكتابات **TRIGGER LEVEL, STABILITY** عند منتصف الواجهة ، لمشغل الجهاز أن ينتقى نقطة البدء للموجة المعروضة . وعنـــد الاستخـــدام العادى ، يدار مضبط الـــ **Trigger level** الى وضـــع **AUTO** ، وفى هذا الوضع ، يمكن التحكم فى البدء بضبط وضع مفتاح انتقاء بدء الميل [بين علامتى « + » ، « — »] .

وتحوى الواجهة اليمنى من مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات مضابط قاعدة الزمن شاملة VARIABLE CONTROL ومفتاح Time/cm . وتكون تدريجات قاعدة الزمن عند مفتاح Time/cm صحيحة فقط فى حالة ادارة الـ VARIABLE CONTROL الى وضع Calibrate الخـــاص بها . فاذا تم ضبط الـ Time/cm الى 1mS وادير مضبط Variable فى Calibrate .

فان دورة واحدة من اشارة بتردد 10 Hz تكاد تكفى لشغل 10 cm فقط فى الاتجاه الافقى [أو X] . ويسمح الـ X-shift المتغير لمشغل الجهاز أن يزحزح كل الاثر اما الى اليسار او اليمين ـــ فوق الشاشة وفى بعض الاستخدامات ، يصبح من الضرورى تقفل مولد قاعدة الزمن . وقـــد أدمج مفتاح فى الـ Time base Variable Control لهذا الغرض .

ولتكملة وصف المضابط ، قد ادمجت مضابط BRIGHTNESS والـ FOCUS فى اعلى واجهة الجهاز . وتسمح هذه المضابط بتحقيق الاغراض المذكورة. اى أنها تسمح لمشغل الجهاز . بتغيير سطوح ودرجة التركيز على التوالى ، للنقطة المضيئة ، [أو الاثر] فوق الشاشة . وفى معظم الاجهزة قليلة التكلفة ، يؤثر كل من هذين المضبطين فى بعضهما البعض بحيث تؤدى زيادة السطوع الى تقليل درجة التركيز . ويتطلب الامر ضبط كلا المضبطين فى نفس الوقت للحصول على اثر حاد وبالوميض الصحيح .

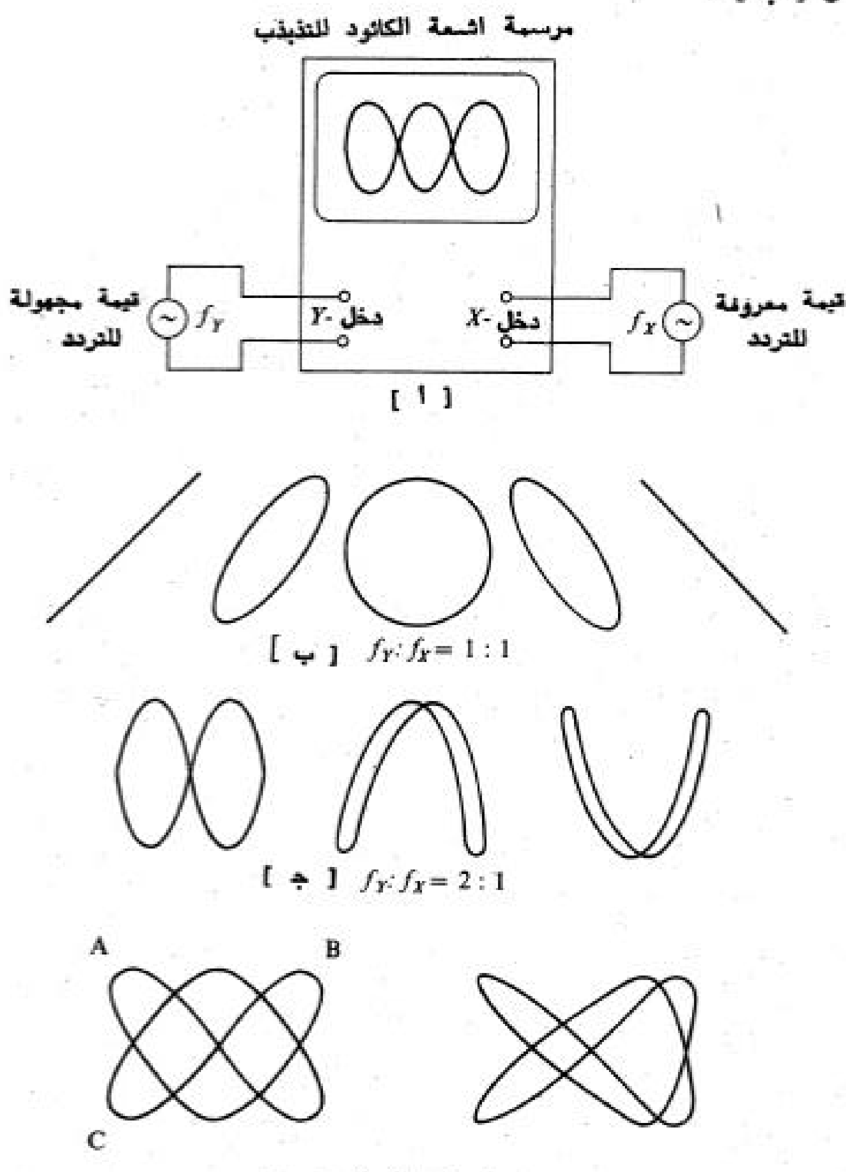
١٦ ـــ ٥ استخدام مرسمة التذبذبات كجهاز للقياسات

ان اكثر استخدامات مرسمات التذبذبات على وجه الاطلاق هو للمتابعة العامة للاشكال الموجية فى الدوائر . وعادة يبلغ عرض نطاق مرسمات اشعة الكاثود للتذبذبات قليلة التكلفة حوالى 10 MHz — 2 ، ويعتبر هذا كافيا لســـد احتياجات معظم مستخدمى الجهاز .

وعندما يستخدم لقياس الفترات الزمنية ، يصبح من الضروري اولا أن يتم معايرة قاعدة الزمن باستخدام مصدر ترددات معلومة . ولكثير من الاجهزة بالداخل مصدر اشارة سبق معايرته بكل دقة . فاذا لم يكن هذا هو الحال ، فان مصدر تغذية التيار المتردد يعتبر على درجة معقولة من الدقة بحيث يمكن استخدامه كاشارة معايرة . فاذا كان تردد المنبع 50 Hz ، ومع ضبط مفتاح الـــ Time/cm عند 10 ms/cm فمن اللازم ان تظهر خمس دورات كاملة لشكل مصدر الجهد الموجى فى عرض قدرة 10 cm من المقيـــاس العينى .

ومن الممكن تحديد تردد اشارة موجية بتوجيه الجهاز لكى يولد اشكالا للاثر تعرف باسم اشكال ليساجوس . ومن اجل هذا تقفل قاعدة الزمن ويتم توصيل التردد المجهول لدخل ـــ Y من مرسمة التذبذبات [انظر شكل

١٦ ـــ ١٢ [أ] . ويتم توصيل مذبذب ثان معروف التردد ، الى لوحى X من مرسمة أشعة الكاثود للتذبذبات ، كما هو موضح بالشكل . ويعتمد الاثر الناتج فوق الشاشة على النسبة بين الترددين وكذلك على علاقات الطور بينهما . فاذا كانت النسبة بين الترددين وكذلك على علاقات الطور بينهما .
فاذا كانت النسبة بين الترددين ، f_X و f_Y تساوى ١ : ١] أنظر شكل ١٦ ـــ ١٢ [ب] فان الشكل المرسوم فوق الشاشة يصبح خطا مستقيما او قطعا ناقصا أو دائرة . ويعتمد ظهور أى شكل من هذه الاشكال على قيمتى الاشارتين النسبية وعلى زاوية الطور بينهما . وتخفض نسبة تردد مقدارها 1 : 2 نماذج شكل [جـ] ، وتخفض نسبة تردد 2 : 3 النماذج المبينة فى شكل [جـ] .



شكل ١٦ ـــ ١٢ [أ] شكل دائرة تستخدم للحصول على اشكال ليساجوس ، [ب] ، [جـ] و [د] تدضح انواع متنوعة للعروض

وتحدد النسبة بين قيمتى هذين الترددين من الشكل المعروض كما يلى : [انظر شكل ١٦ ــ ١٢ [د]] .

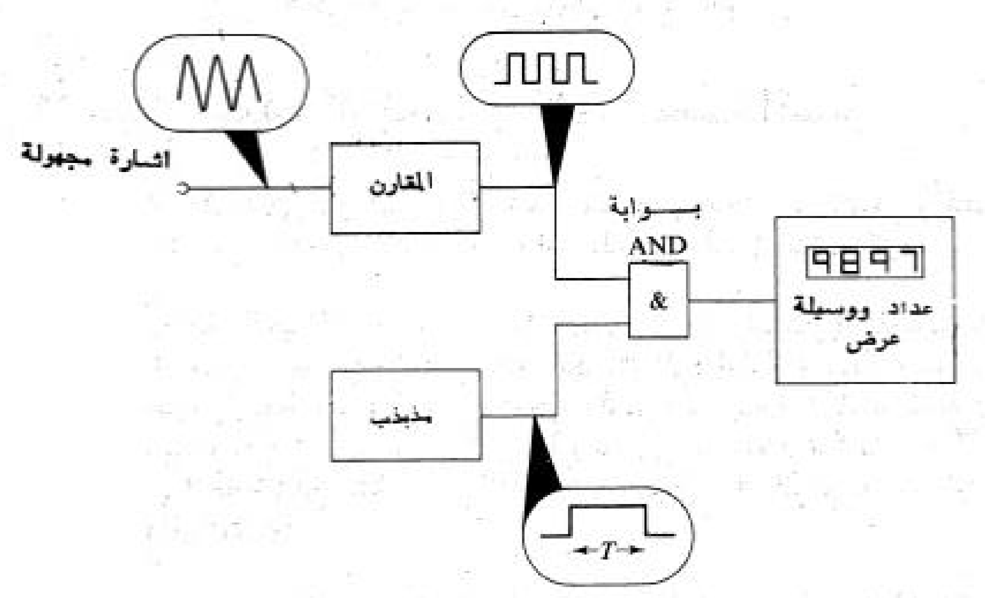
$$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{\text{عدد الحلقات بين A و B}}{\text{عدد الحلقات بين A و C}}$$

ومن النادر أن يكون شكل الاثر مستقرا لاى من الزمن ، حيث أن زاوية الطور بين الاشارتين تتغير ببطء . ففى حالة نسبة مقدارها 1 : 1 بين الترددين ، قد يتغير الشكل ببطء من الخط المستقيم فى يسار شكل [ب] الى شكل قاطع ناقص ثم الى اشكال دائرية حتى يصل الى شكل الخط المستقيم الموضح فى يمين الشكل . وقد تعود بعدئذ ببطء لشكلها الاصلى .

١٦ ــ ٦ الاجهزة الرقمية لقياسات التردد والزمن

بالرغم من امكانية قياس التردد وفترة الزمن باستخدام مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات ، فان دقة القياسات تعتبر محدودة . فكلما تطلب الامر قياسات على درجة عالية من الدقة لهذه الكميات ، فمن المعتاد استخدام الاجهزة الرقمية .

ويوضح شكل ١٦ ــ ١٣ فكرة عمل مقياس التردد الرقمى . فلقياس قيمة التردد المجهولة ، يحول الشكل الموجى اولا الى مجموعة من النبضات بواسطة العنصر المقارن فى الدائرة . اذ يسمح بدخول النبضات الخارجة من المقارن الى

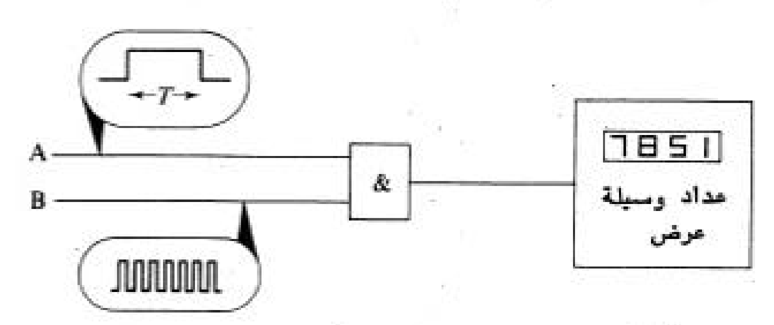


شكل ١٦ ــ ١٣ ، بيان اجمالى لجهاز شائع لقياس التردد

دخل العداد عن طريق بوابة « و » ، والتى يسلط عند دخلها اشارة دخل اخرى من مذبذب ذى تردد على قدر كبير جدا من استقرار الذبذبة .

وتستخدم فترة زمن مولد النبضات الميقاتى "T" كفترة حاجزة « يتم خلالها اخذ عينات مجموعة النبضات المعطاة من التردد المجهول . فاذا انتج مصدر الاشارة تحت الاختبار 9897 ونبضة فى الثانية واستغرقت الفترة T لاشارة المذبذب زمنا قدره ثانية واحدة ، فان العداد يظهر عند نهاية الفترة 9897 . وفى المعدات التجارية ، تكرر عملية العد بطريقة مستمرة ، وتتغير القيمة التى تظهر مع تغير التردد المراد قياسه .

ويوضح الشكل الاجمالى ١٦ — ١٤ فكرة عمل نوع آخر من الاجهزة يسمى باسم عداد الوقائع . اذ يعد هذا الجهاز عدد الحوادث B التى تحدث خلال فترة زمنية معينة عند الدخل A . وقد تستخدم ، مثلا ، لتحديد عدد الوحدات التى تمر بنقطة معينة فى خط الانتاج خلال فترة زمنية معينة . وتفتح الاشارة عند الخط A بوابة « و » خلال زمن قدره T يتم خــلاله عد النبضات المسلطة على الخط B . ومن الممكن توليد هذه النبضات بواسطة محول طاقة مناسب فى خط الانتاج .



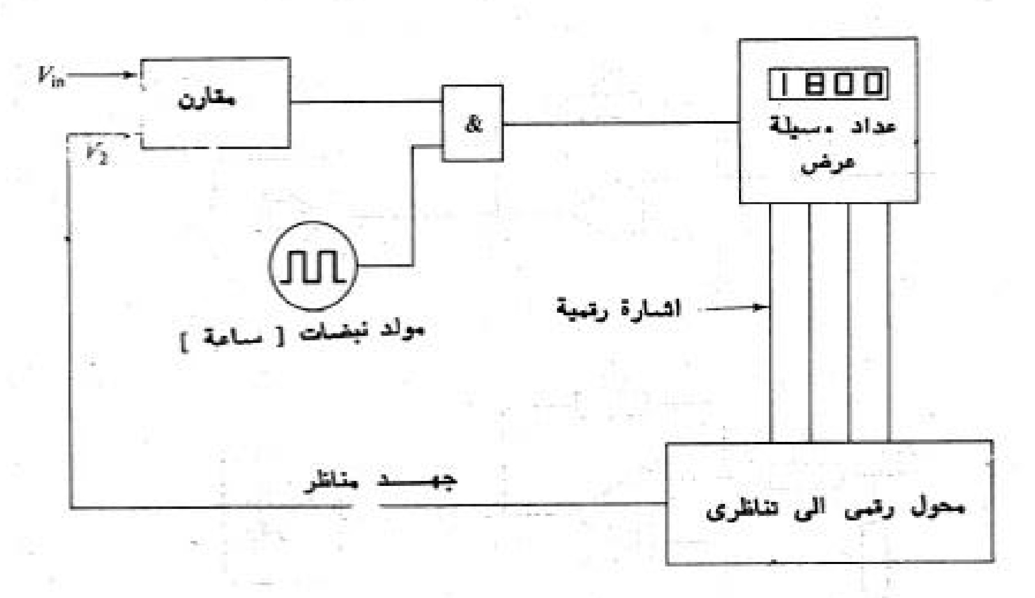
شكل ١٦ — ١٤ بيان اجمالى لعداد وقائع

١٦ — ٧ وحدات الفولتميتر والمقايس متعددة المــدى

تصنع اشكال شتى من اجهزة الاختبار وتشمل وحدات الفولتميتر والميلى اميتر والاميتر مع مقاييس التردد ووحدات التوقيت التى سبق ذكرها .

وينبغى اتخاذ الحيطة عند انتقاء جهاز رقمى ، حيث قد تكون المواصفات مضللة . اذ يعين العرض المقدم بدلالة عدد الارقام المرئية ، فمثلا تستطيع بعض الاجهزة بأربعة « نوافذ » أن تعطى اقصى رقم يمكن قراءته يساوى 9999 ، وبينما يبلغ فى البعض الاخر يبلغ اقصى رقم يمكن قراءته 1999 فقط . وفى العادة تبلغ دقة معظم الاجهزة الرقمية ±1 الرقم عنــد طرف المقياس الاقل اهمية .

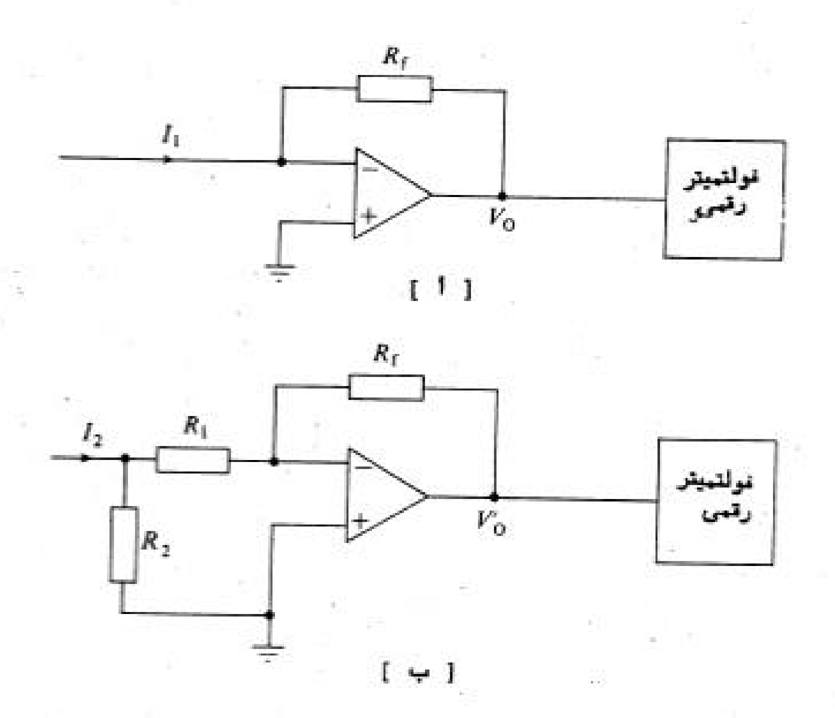
ويصنع عدد من الانواع الاساسية وحدات الفولتميتر الرقمية (d.v.m) ويبين شكل ١٦ — ١٥ بيانا اجماليا لنوع منها . وفى هذه الحالة ، يسلط جهد الدخل V_{in} مجهول القيمة على المقارن ومعه جهد آخر V_2 . فعندما تزيد قيمة V_{in} عن قيمة V_2 ،



شكل ١٦ — ١٥ بيان اجمالى لواحد من انواع الفولتميتر الرقمى

يكون الخرج اشارة منطق « ١ » التى تفتح بوابة « و » فى الشـــكل لتكن $V_{in} = 18$ V ، $V_2 = 0$ ، بصفة مبدئية . ففى هذا الوقت يصبح خـرج المقارن منطق (1) الذى يسمح بتسليط نبضـــات من اشارة الساعة للعداد وطبقا لسرعة تسليط نبضات الساعة الى العداد ، يتم عدها وعرضها فى التو . وفى نفس الوقت ، يتم تسليط خرج العداد لمحول رقمى — الى — تناظرى ، والذى يحول القيمة الرقمية الى جهد كهربائى V_2 . فاذا ما انتج المحول الرقمى — الى — تناظرى جهد خرج قدره 0.01 V — لكل رقم يعرض العداد ، فان الخرج V_2 من المحول يساوى 18 V ، بعد انتهاء عد 1800 نبضة . وعندما يحدث هذا الوضع ، $V_2 = V_{in}$ ويتناقص خرج المقارن الى الصفر . ويؤدى هذا الى تقييد تشغيل بوابة « و » ، ويمنع المزيد من النبضات من تسلط الى العـــداد . ومن الممكن بعـدئذ معايرة القراءة المعروضة بدلالة جهد الدخل . ويعتمد وقت التحويل النهائى على تردد المصدر المغذى للساعة فاذا بلغ هذا التردد 1 kHz ، فانه يلزم 1.85 لانهاء القراءة مع جهد دخل مقداره 18 V فاذا كان تردد السـاعة 100 kHz فسوف يلزم 0.0185 فقط .

القياسات الرقمية للتيار : يوضح شكل ١٦ — ١٦ [أ] دائرة مناسبة لقياس قيم صغيرة جدا من التيار فى المدى من حوالى 10 nA ($1 \text{ nA} = 10^{-9}$ A) الى حوالى 1 mA . ويسلط التيار المراد قياسه ، الى دخل مكبر تشغيلى ، ونظرا للكسب المكبر التشغيلى المرتفع ، يمر هذا التيار خلال المقاومة R_f . ويصبح مقدار خرج المكبر التشغيلى هو $I_1 R_f$ من وحدات الفولت . فاذا كانت If $R_f = 10\,\text{k}\Omega$ وكانت قيمة التيـــار المقاس تساوى 0.1 mA ،



شكل ١٦ — ١٦ العرض الرقمى للتيار لى [أ] قيم صغيرة جدا للتيار [ب] قيم اعلى للتيار

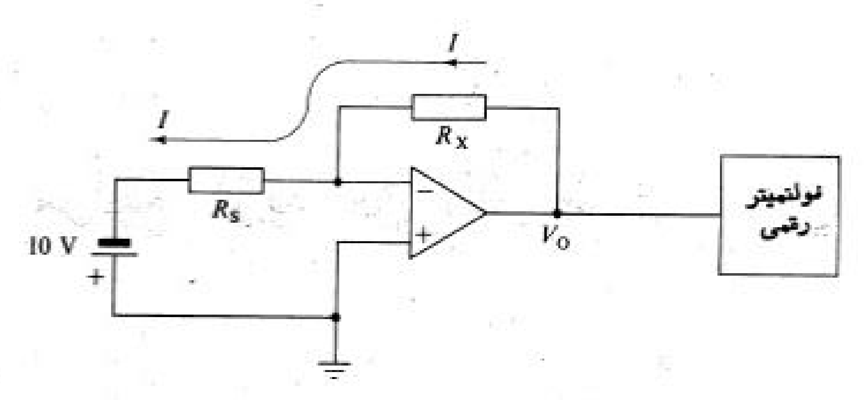
فان مقدار جهد الخرج من المكبر التشغيلى يصبح **1 V** ويسلط هذا الجهد على فولتميتر رقمى ، مما يؤدى الى معايرة قراءة قدرها **1 V** لتيار قيمة **0.1 mA** .

ويمكن استخدام الدائرة الموضحة فى شكل ١٦ — ١٦ [ب] لقيم اعلى للتيار [حتى حوالى **1 A**] . وتصبح قيمة جهد الخرج من المكبر التشغيلى ، فى هذه الحالة كما يلى .

$$V'_O = \frac{R_2 R_f}{R_1 + R_2} I_2$$

ومرة اخرى ، يمكن معايرة الجهد المعروض فى الفولتميتر الرقمى بدلالة التيــــار I_2 .

القياسات الرقمية للمقاومة : يمكن استخدام الفولتيمتر الرقمى مـــع المكبر التشغيلى كما هو موضح فى شكل ١٦ — ١٧ ، ليعطى بيانا رقميا لقيمة R_X . وتصلح هذه الدائرة لقيم من المقـــاومة اكبر من حوالى $100\,\Omega$. تستخدم المقاومة R_X المجهولة القيمة فى حلقة التغذية المرتدة ، وتستخدم مقاومة قياسية R_S كمقاومة دخل . وتصبح قيمة التيار المار خـــلال كلتا المقاومتين كالاتى :



شكل ١٦ ــ ١٧ العرض الرقمى للمقاومة

$$I = \frac{10}{R_S} = \frac{V_O}{R_X}$$

لــذا :

$$R_X = \frac{V_O}{10} R_S$$

فإذا كانت $R_S = 10\ k\Omega$ و $V_O = 1\ V$ فإن $R_X = 1\ k\Omega$. وبهذه الكيفية ، يمكن معايرة قراءة الفولتميتر الرقمى بدلالة المقاومة .

مراجع لمزيد من القراءة :

Electrical Principles

N. M. Morris, *Electrical Circuits and Systems*, Macmillan, 1975
M. R. Ward, *Electrical Engineering Science*, McGraw-Hill, 1974
G. Stott and G. S. Birchall, *Electrical Engineering Principles*, McGraw-Hill, 1969

Linear Electronics

N. M. Morris, *Industrial Electronics*, McGraw-Hill, 1970
N. M. Morris, *Advanced Industrial Electronics*, McGraw-Hill, 1974

Digital Electronics

N. M. Morris, *Logic Circuits*, 2nd Edn, McGraw-Hill, 1976
N. M. Morris, *Digital Electronic Circuits and Systems*, Macmillan, 1974

Semiconductor Devices

N. M. Morris, *Semiconductor Devices*, Macmillan, 1976

Glossary قائمـــــــة بالمصـطلحات !

Chapter 1	**الفصل الاول :**
Diffusion Current	تيار الانتشـار
Drift current	تيار الانسياق
Hole	فجـــوة
leakage current	تيار التسرب
Charge carrier	حاملات الشحن
Current source	مصـدر تيار
Electron	الـــكترون
Majority charge carrier	الشحنات الكاملة ذات الاغلبية
n-type semiconductor	النوع السـالب [س] الموصل
Nucleus	النـــواة
p-type semiconductor	النوع الموجب [م] تشبه الموصل
proton	بروتـــون
Resistance — temperature coefficient	معـامل المقـاومة الحرارى
Valence electron	الكترون التكافؤ
Chapter 2	**الفصل الثانى :**
feed back	تغـذية مرتدة
carbon composition resistor	مقاومة كربونية التركيب
carbon film resistor	مقاومة ذات غشاء كربونى
cermet potentiometer	مقياس الجهد السيرميتى
conductive plastic potentiometer	مقياس الجهد الموصل البلاستيك
cracked carbon resistor	مقاوم الكربون المتشقق

High stab carbon resistor	مقاومةكربونية ذات درجة استقرار مرتفعة
Rectilinear potentiometer	مقياس جهد خطى
Thick film resistor	مقاوم الغشاء [فيلم] السميك
Metal glaze resistor	مقاوم معدنى زجاج [مصقول]
Metal film resistor	المقاومة الغشائية المعدنية
Tolerance range	مـــدى التفـــاوت
voltage dependant resistor	مقاومة تابع الجهـــد
Wire wound resistor	مقاومة السلك الملفوف
Colour code	الرمز بالالوان

Chapter 3 **الفصل الثالث :**

Air dielectric capaciter	مكثف ذو عازل هوائى
Ceramic dielectric capacitor	مكاف ذو عازل خزفى
Device	نبطيـــــة
Mixed dielectric capacitor	مكثف ذو عازل مختلط
Electrolytic capacitor	مكثف الكترولينى
Letter code capacitor	رموز الحروف للمكثف
Metallized paper capacitor	مكثف ذو صحائف ورقية ممعدنة
Paper dielectric capacitor	مكثف ذو عازل ورقى
Permittivity	سماحية ثابت العزل
Silvered mica capacitor	مكثف الميكا المفضض
Plastic film dielectric capacitor	مكثف ذو غشاءالبلاستيك العازل

Chapter 4 **الفصل الرابع :**

Magnetic screening	الحجب المغناطيسى
Choke	خـــــانق
Dust core	قلب من البرادة
Eddy current	تيار دوامى

ferrite	فريت
Ferromagnetic material	مواد فيرومغناطيسية
Self Inductance	محـــــاثة ذاتية
Laminated iron core	قلب من رقائق الحديد
Electrical Noise	تشويش كهربائى [ضوضاء]
Pot core	قلب الوعـــــاء
Powdered iron core	قلب مسحوق الحديد
Magnetic saturation	التشبع المغناطيسى
Chapter 5	**الفصل الخامس :**
Aleternating waveform	شكل موجى متردد
Waveform analysis	تحليل الشكل الموجى
Waveform synthesis	تركيب الشكل الموجى
Angular frequency	تردد زاوى
Electromagnetic frequency spectrum	طيف التردد الكهرومغناطيسى
Harmonic	تـــــوافقى
Mark -to -space ratio	نسبة الاشارة الى المباعدة
Mean value of sinewave	القيمة المتوسطة للموجة الجيبية
Peak value	القيمة الذروية
Periodic time of a Wave	الزمن الدورى للشكل الموجى
Phase angle	زاوية الطـــــور
Phase lag	طـــــور متخلف
Phase lead	طـــــور متعتم
Phasor	بيان علاقة الطـــــور
Radian	زاوية نصف قطرية
Chapter 6	**الفصل السادس :**
Acceptor Circuit	دائرة متقبلة
Rejector circuit	دائرة رافضة

Capacitive reactance	مفاعلة ســعوية
Cut — off frequency	تردد قطــع
Decibel (dB)	ديسبيل
frequency response curve	منحنى استجابة التردد
Parallel circuit	دائرة توازى
Impedance	معـــاوقة
Mutual Inductance	حث تبــادلى
Power factor	معامل القـــدرة
Q-factor	معامل الجــودة

Chapter 7 — الفصل السابع :

Transformer	محــول
Air core	قلب هوائى
Transient	مرحلة عابرة
Dot notation	علامة النقطة

Chapter 8 — الفصل الثامن :

Centre-tap rectifier circuit	دائرة موحـــد ذو نقطة تفرع متوسطة
Enhancement-mode FET	المنوال التدعيمى للترانزســتور التأثير المجالى
Field-effect transistor	ترانزسـتور تأثير المجال
Insulated-gate FET	ترانزستور التأثير المجــالى ذو البوابة المعزولة
Spark quench diode	دايــود الشـرارة المطفأة
Break down	انهيـــار
Reverse	عـــكسى
Zener	زينـــر
Depletion region	منطقة استنفـــاد
Diac	دايـــك
Derating of	تناقص القدرة المقدرة المســموح بترسيبها فى الوصلات مع ازدياد درجة الحرارة المحيطة

Protection of Zener	وقاية الزينر
Flywheel diode	دايود تنظيم السرعة [حدافة]
Varactor diode	فاراكتور دايود [دايود تتغير سعته حسب الفولتية]
Varicap diode	فاريكاب دايود [دايــود متغير السعة]
Forward bias	انحياز امامى
Thermal resistance	مقاومة حرارية

Chapter 9 الفصل التاسع :

Peak-point voltage	النقطة الذروية للجهد
Pinch-effect resistor	مقاومة تاثير التغير
Pinchoff voltage	جهد نهاية التغير
Common-base connection	توصيلة القاعدة المشتركة
Common-Collector Connection	توصيلة المجمع المشتركة
Cutt off operation	التشغيل فى حالة القطع
Insulated-gate field effect (FET)	ترانزستور التاثير المجالى ذو البوابة المعزولة
junction gate field effect (FET)	ترانزستور التاثير المجالى ذو البوابة الموصلة
Unijunction Transistor	ترانزستور احادى التوصيل
Current gain	كسب التيـــار
Early effect	تاثير مبكر
Field-effect transistor	ترانزستور التاثير المجالى
n-p-n transistor	ترانزستور س.م.س
p-n-p transistor	ترانزستور م.س.م
PUT	ترانزستور احـــادى الوصلة مبرمج
Numbering system of transistor	النظم العددية للترانزستور
h-parameter	بارامتر

Chapter 10	**الفصل العاشر :**
Photoelectric	كهروضوئى
Cold-cathode display	عرض باشعة الكاثود
Display device	نبطية عرض
Dot matrix display	عرض مصنوف النقطة
Filament display, 7 — **segment**	فتيلة عرض ، ٧ — قطع
liquid crystal display	مبين السائل البلورى
Photo Diode	دايود ضوئى
Gas — filled display	مبين مملوء بالغـــاز
Light-emitting diode	دايود الانبعاث الضـــوئى
Optically coupled isolator	عازل التقارن الضوئى
Optoelectronics	الالكترونيات الضوئية
Phosphor diode display	مرسمة الدايود الفسفورى
Photo conductive cell	خلية موصلية ضوئية
Photoemissive cell	خلية مبتعثة للالكترونات تحت تاثير الضوء
Photo thyristor	ثايرستور ضوئى
Photo voltaic cell	خلية جهد ضوئية
Solar cell	خلية شمسية

Chapter 11	**الفصل الحادى عشر :**
Amplifier	مكبر
band width	عرض النطاق الترددى
Chopper	تطـــاع
Class A	طـائفة A
Class AB	طـائفة AB
Class B	طـائفة B
Class C	طـائفة C
Common — source	مصدر مشترك

Common — emitter	المطلق . المشترك
Direct coupled	التقارن المباشر
Operational amplifier	مكبر تشغيلى
Phase inverting	عاكس الطـــور
Push — pull	دفعى وجذبى
Thermal runaway	انفلات حرارى
Binary notation	الدلالة الثنائية
CMOS	اشباه الموصلات الاكسى معدنية المتتامة
Positive logic notation	اصطلاحات المنطق الموجب

Chapter 12	الفصل الثانى عشر :
Dual — in — line (DIL) package DIL	تغليفة مجموعة ثنائية الخطوط
Film integrated circiut	دائرة غشائية متكاملة
Flatpack encapsulation	تغليف المجموعة المسطحة
Chip, Semiconductor	شريحـــة رقيقة ، اشـــباه الموصلات
Die, Semiconductor	قالب ، اشباه الموصلات
Epitaxial Layer	طبقة ابيتاكسيل [فوقية]
Integrated circuit	دائرة تكاملية
Film	غشـــاء
LSI	مقياس مكبر للدائرة التكاملية
Monolithic	قطعة واحدة
MSI	مقياس متوسط للدائرةالتقللين
Packaging of	تغليف الــ
Substrate	قاعدة سفلية
Thick film circuit	دائرة النشاء السميك
Wafer, Semiconductor	رقاقة شبه موصلة
Monolithic integrated circuit	دائرة تكاملية ذات قطعة واحدة

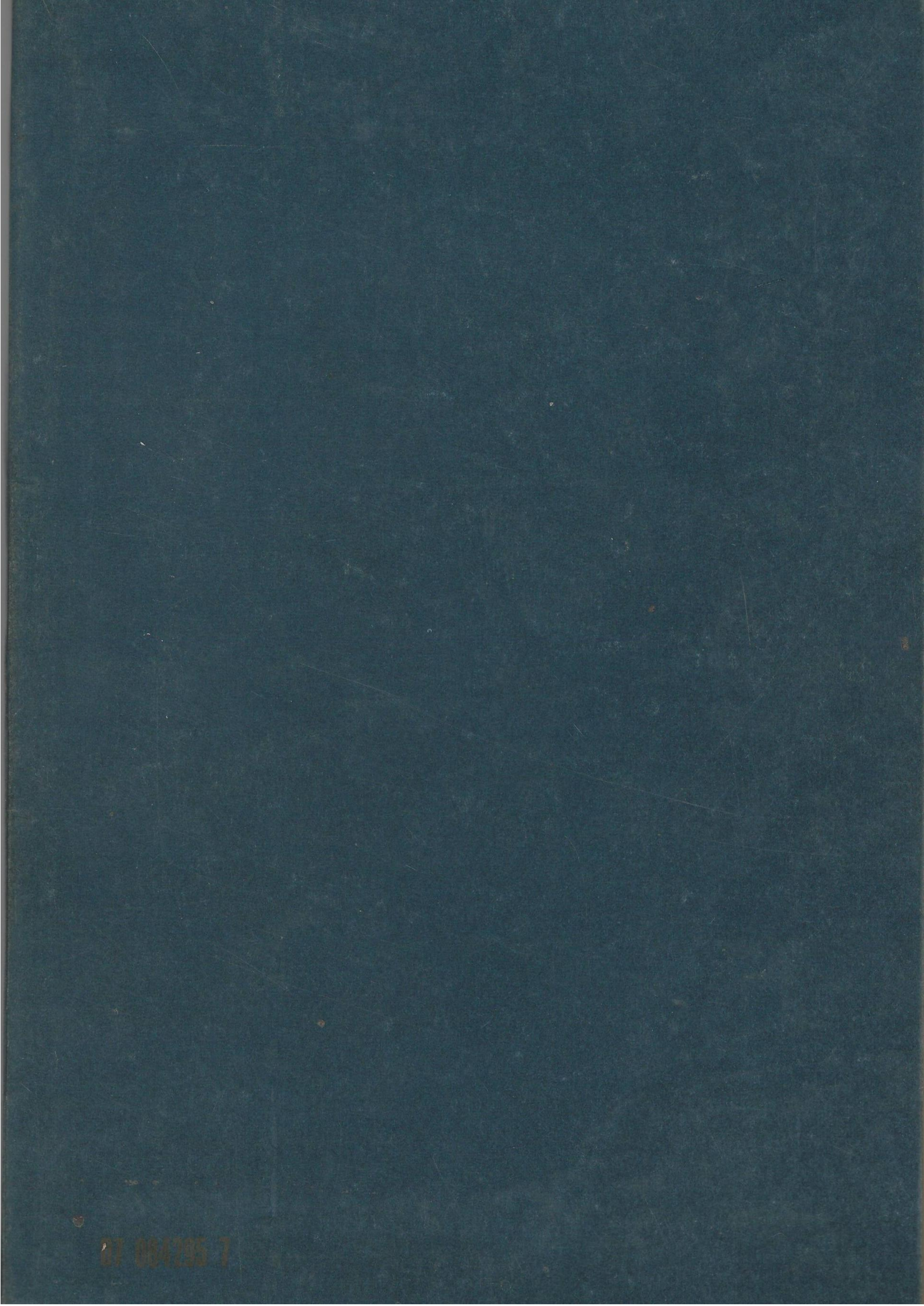
Chapter 13	الفصل الثالث :
Phase splitting	شطر الطور
A stable maltivibrator	متعدد الاهتزاز المتصل
Phase shift oscillator	مكبر ازاحة طورى
Relaxation oscillator	مذبذبة تراخ
Feedback amplifier	مكبر تغذية مرتدة
Gain — bandwidth product	حاصل ضرب عرض النطـــاق الترددى فى الكسب
Oscillator	مذبذب
Positive feedback	تغذية مرتدة موجبة
Pulse generator	مولد نبضات
Source follower	مصدر تابع

Chapter 14	الفصل الرابع عشر :
Difference amplifier	مكبر فرقى
Differential amplifier	مكبر تفاضلى
Backlash voltage	جهد التنويت
Noise immunity	حصانة ضد التشويش
Virtual earth point	نقطة ارضية افتراضية
Voltage comparator	مقارن للجهد
Voltage follower	تابع الجهـــد
Operational amplifier	مكبر تشغيلى
Inverting amplifier	مكبر عاكسى

Chapter 15	الفصل الخامس عشر :
Burst firing control	التحكم فى تفجير الاشعال
Crowbar overvoltage protection	محل الوقاية من تزايد الجهد
Current limiting circuit	دائرة الحد من التيار

d-c link converter	مغير وصلة تيار مستمر
Delay angle	زاوية تعويق
Depletion region	منطقة استنفاد
Overcurrent protection for series regulator	منظم التوالى للوقاية من تجاوز التيار
Silicon controlled switch	المفتاح السليكونى المحكوم
Triac	ترايك
Zero-point firing	الاشعال عند نقطة الصفر
Zero-voltage firing	الاشعال عند جهد الصفر
Chapter 16	**الفصل السادس عشر :**
Cathode rayoscilloscope	أشعة الكاثود للمذبذبات
Digital measurement	قياسات رقمية
Digital voltmeter	فولتميتر رقمى
Audio frequency oscillator	مذبذب ذو ترددات سمعية
Blocking capacitor	مكثف مانع
Electronic voltmeter	فولتميتر الكترونى
Lissajous figures	اشكال ليساجوس
Multirange meter	مقياس متعدد المدى
Ohm meter	جهاز قياس المقاومة
Signal generator	مولد اشارة

الفهـــــــــــرس



07 004295 7